

Министерство образования и науки
Российской Федерации

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758

18+



Выпуск № 2, 2018 г.

Выходит 4 раза в год

**«Наука. Инновации. Технологии»
Научный журнал Северо-Кавказского
федерального университета**

Учредитель	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
Главный редактор	д-р геогр. наук, профессор В. С. Белозеров
Редакционный совет	А. А. Левитская, председатель, ректор СКФУ, канд. филол. наук, доцент; А. А. Лиховид, заместитель председателя, проректор по научной работе и стратегическому развитию СКФУ, д-р геогр. наук, профессор; В. С. Белозеров, главный редактор, д-р геогр. наук, профессор; М. Ч. Залиханов, д-р геогр. наук, профессор, академик РАН (Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик); А. Г. Храмцов, д-р техн. наук, профессор, академик РАН; Ю. Ю. Балега, д-р физ.-мат. наук, академик РАН (САО РАН, п. Нижний Архыз); С. В. Рязанцев, д-р экон. наук, член-корр. РАН (ИСПИ РАН, г. Москва); В. С. Тихунов, д-р геогр. наук, профессор (МГУ им. Ломоносова, г. Москва); С. Пестрак, профессор (Институт Жана Лямура университета Лотарингии, г. Нанси, Франция)
Редакционная коллегия	М. Т. Абшаев, д-р физ.-мат. наук, профессор (Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик); А. А. Лиховид, д-р геогр. наук, профессор; В. С. Белозеров, д-р геогр. наук, профессор (главный редактор); Т. П. Бондарь, д-р мед. наук, профессор; В. Б. Бородулин, д-р мед. наук, профессор (Саратовский ГМУ Росздрав, г. Саратов); О. А. Бутова, д-р мед. наук, профессор; Т. И. Герасименко, д-р геогр. наук, профессор (Оренбургский гос. университет, г. Оренбург); В. А. Гридин, д-р геол.-минерал. наук, профессор; Л. И. Губарева, д-р биол. наук, профессор; Т. И. Джандарова, д-р биол. наук, доцент; Ю. И. Диканский, д-р физ.-мат. наук, профессор; Л. А. Диневич, д-р физ.-мат. наук, профессор (Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив); К. В. Ерин, д-р физ.-мат. наук, профессор; А. И. Жакин, д-р физ.-мат. наук, профессор (Юго-Западный гос. университет, г. Курск); А. Р. Закинян, канд. физ.-мат. наук, доцент; А. О. Иванов, д-р физ.-мат. наук, профессор (Уральский федеральный университет им. Б. Ельцина); А. А. Коляда, д-р физ.-мат. наук, доцент (Белорусский гос. университет, г. Минск); С. А. Куникин, канд. физ.-мат. наук, доцент; А. Д. Лодыгин, д-р техн. наук, доцент; А. В. Лысенко, д-р геогр. наук, доцент; И. Н. Молодилова, канд. геогр. наук (Центрально-Европейский университет, г. Будапешт); В. И. Наац, д-р физ.-мат. наук, профессор; Т. Г. Нефедова, д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); П. М. Полян, д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); В. В. Разумов, д-р геогр. наук, профессор; Л. Д. Тимченко, д-р ветеринар. наук, профессор; Л. Д. Цатурян, д-р мед. наук, профессор (Ставропольский гос. мед. университет, г. Ставрополь); Н. И. Червяков, д-р техн. наук, профессор; В. А. Шальнев, д-р геогр. наук, профессор; Н. А. Щитова, д-р геогр. наук, профессор; А. С. Молахосеини, канд. наук, доцент (Исламский университет Азад, Керман, Иран); Х. А. А. Кдаис, канд. техн. наук, профессор (Иорданский университет науки и технологии, Амман)
Свидетельство о регистрации	ПИ № ФС77–52723 от 8.02.2013
Подписной индекс	Объединенный каталог. ПРЕССА РОССИИ. Газеты и журналы: 94011
Журнал включен	в БД «Российский индекс научного цитирования». Журнал «Вестник Ставропольского государственного университета» перерегистрирован в журнал «Наука. Инновации. Технологии» в связи с переименованием учредителя.
Журнал	в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, с 1 декабря 2015 г.
Адрес Телефон Сайт E-mail	355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1 (8652) 33–07–32 www.ncfu.ru nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308–4758

**«Science. Innovations. Technologies»
North Caucasus Federal
University**

Founder	Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «North Caucasus Federal University»
Editor in chief	V. S. Belozеров, Doctor of Geographical Sciences, professor
Editorial Council	A.A. Levitskaya, chairman, Rector SKFU, PhD. Philology Sciences, Associate Professor; A.A. Likhovid, Vice Chairman, Doctor of Geographical Sciences, Professor; V.S. Belozеров, Chief Editor, Doctor of Geographical Sciences, professor; M.Ch. Zalikhonov, Dr. of Geographical Sciences, professor, academician of the Russian Academy of Sciences (Mountain Geophysical Institute, Nalchik); A.G. Hramtsov, Dr. Technical Sciences, Professor, academician of the Russian Academy of Sciences; Y.Y. Balega, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, academician of the Russian Academy of Sciences (SAO RAS, p. Lower Arhiz); S.V. Ryazantsev, Dr. of Economic Sciences, corresponding member of the Russian Academy of Sciences (ISPR RAS, Moscow); V.S. Tikunov, Doctor of Geographical Sciences, professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow); S. Pestrak, Professor (Institute Jean Lamour, Measurement and electronic architectures group, Nancy, France)
Editorial Board	M.T. Abshaev, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor (Mountain Geophysical Institute, Nalchik); A.A. Likhovid, Dr. of Geographical Sciences, professor; V.S. Belozеров, Dr. of Geographical Sciences, professor, editor in chief; T.P. Bondar', MD, professor; V.B. Borodulin, MD, Professor (Saratov State Medical University, Saratov); O.A. Butova, MD, professor; Gerasimenko T.I., Dr. of Geographical Sciences, Professor (Orenburg State University, Orenburg); Gridin V.A., Dr. of geological-mineralogical Sciences, Professor; L.I. Gubareva, Sc. D., Professor; T.I. Dzhandarova, Sc. D., Associate Professor; Y.I. Dikanskiy, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor; L.A. Dinevich, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Tel-Aviv University, Tel-Aviv); K.V. Erin, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor; A.I. Zhakin, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Southwest State University, Kursk); A.R. Zakinyan, candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor; A.O. Ivanov, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Yeltsin's Ural Federal University); A.A. Kolyada, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor (Belarusian State University, Minsk); S.A. Kunikin, Ph.D., Associate Professor; A.D. Lodygin, Dr. of Technical Sciences, associate professor; A.V. Lysenko, Dr. of Geographical Science, associate professor; I.N. Molodikova, Ph.D. (Central European University, Budapest); V.I. Naats, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor; T.G. Nefedova, Dr. of Geographical Sciences, Leading Researcher, Russian Academy of Sciences (IG RAS, Moscow); P.M. Polyan, Dr. of Geographical Sciences, Leading Researcher, Russian Academy of Sciences (IG RAS, Moscow); V.V. Razumov, Dr. of Geographical Sciences, Professor; L.D. Timchenko, Dr. of Veterinary Sciences, Professor; Tsaturyan L.D., MD, Professor (Stavropol State Med. University, Stavropol); N.I. Chervyakov, Dr. of Technical Sciences, professor; V.A. Shalnev, Dr. of Geographical Sciences, Professor; N.A. Shitova, Dr. of Geographical Sciences, Professor; A.S. Molahosseini, assistant professor, PH.D (Islamic Azad University, Kerman); H. Qdais, Ph.D in environmental engineering, professor (Jordan University of science and technology, Amman)
Certificate	ПИ № ФС77–52723 dated February 8th 2013.
The Index	The Journal is included in the DB «Russian index of the scientist quoting».
The journal	«Bulletin of the Stavropol state University» renamed in the journal «Science. Innovations. Technologies» due to renaming of the founder.
The journal	is recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publishing the dissertation research results
Adress Phone Site E-mail	355009, Stavropol, Pushkin street, 1 8 (8652) 33–07–32 www.ncfu.ru nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308–4758

СОДЕРЖАНИЕ

«Наука. Инновации. Технологии», №2, 2018

ФИЗИКО–МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Ватиашвили М.Р.** Оценка влияния на окружающую среду йодистого серебра, применяемого в противораговой защите 7
- Дерябин М.И., Ерина М.В., Жданова Н.В.**
Особенности влияния интенсивности возбуждения и концентрации на заселенность триплетного уровня молекул в стеклообразных матрицах при 77 к. 25
- Жиляков Е.Г., Белов С.П., Романькова Т.С., Олейник И.И.**
Обработка сигналов в линейных системах 35
- Испирян А.Г.** Особенности релаксации намагниченности магнитных жидкостей содержащих намагниченные агрегаты 49
- Редькина Т.В.** Солитонные решения комплексификации уравнения Кортевега – де Вриза 61
- Яновская О.С., Сурнева О.Б.**
Нелинейное уравнение в частных производных, связанное с оператором Дирака 75

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Антонов С.А., Скрипчинский А.В.**
Использование данных дистанционного зондирования для многолетнего мониторинга за состоянием агроландшафтов 89

- Бейтуганова М.А., Гридин В.А.**
Оценка перспектив нефтегазоносности территории восточного предкавказья и зон возможной локализации углеводородов 101
- Гасумов Р.А.** Выделение и оценка фильтрационно-емкостных параметров глинистых коллекторов 115
- Диденко П.А., Водопьянова Д.С., Скрипчинская Е.А.**
Оценка устойчивости ландшафтов Ставропольского края к антропогенной нагрузке 127
- Мовсесова В.В., Блужина А.С., Иваненко К.И., Степанян А.А.**
Определение уровня пылевой нагрузки на снежный покров в зоне влияния Урупского горно-обогатительного комбината 139
- Соловьев И.А., Щитова Н.А.**
Территориальные особенности мигрантофобии в городах Северного Кавказа 149
- Ротанова И.Н., Тикунев В.С.**
Подходы к формированию алтайского кластера международного туризма в контексте трансграничных транспортных коридоров экономического пояса шелкового пути 161
- Шальнев В.А., Ляшенко Е.А.**
Интеграционные процессы в географии и её место в системе наук 175
- Эшроков В.М., Махмудов Р.К., Черкасов А.А., Глушченко И.В.**
Гис-анализ градостроительного развития города-курорта Кисловодска 185

**Ярошенко А.А., Папоротная А.А.,
Савина Ю.А., Скрипнюк О.В.**

Оценка основных нефтегазоматеринских
свойств юрских отложений Терско-Каспий-
ского передового прогиба 197

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Туровский Я.А. Возможности освоения интерфейса мозг-
компьютер на основе стабильных зритель-
ных вызванных потенциалов с использо-
ванием очков дополненной реальности 211

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ 221

ABOUT THE AUTHORS 223

CONTENTS 225

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ЙОДИСТОГО СЕРЕБРА, ПРИМЕНЯЕМОГО В ПРОТИВОГРАДОВОЙ ЗАЩИТЕ

Evaluation of the influence on the environment of argentum iodide applicable in anti-hail protection

Прошло 50 лет со дня начала противоградовой защиты (1967 г.), проводимой в районах региона Центрального Кавказа, с применением частиц кристаллизующего реагента (ЧКР) йодистого серебра (Agl). Исследования показывают, что с увеличением: среднего годового количества засеянных градоопасных и градовых облаков ($N_{об}$) отмечается увеличение среднего годового количества противоградовых ракет ($N_{пгр}$), снаряженных ЧКР AgI и приводящих к загрязнению окружающей среды; значений $N_{пгр}$ отмечается увеличение среднего годового количества числа онкологических заболеваний ($N_{оз}$) на защищаемых территориях Андроповского и Кочубеевского и Шпаковского районов Ставропольского края. Для объективной оценки влияния $N_{пгр}$ на количество $N_{оз}$ кожи ($N_{зк}$) и органов дыхания ($N_{од}$) построены уравнения регрессии, рассчитаны коэффициенты парной корреляции и детерминации, связывающие между собой значения $N_{пгр}$ с $N_{зк}$, $N_{пгр}$ с $N_{од}$. Так как значения этих коэффициентов оказались больше критического значения, приведенного в таблице распределения Стьюдента, то они являются надежными и могут служить доказательством существования связей между значениями $N_{пгр}$ и $N_{зк}$, между значениями $N_{пгр}$ и $N_{од}$ Андроповского, Шпаковского и Кочубеевского районов Ставропольского края.

Fifty years have passed since the beginning of anti-hail protection (1967) provided in the Central Caucasus areas with the application of crystallizing reagent particles (CRP) of argentum iodide (Agl). The research shows that with the increase in: average annual number of sown hail-risky and hail clouds (N_{cis}) there is an increase in average number of anti-hail rockets (N_{ahr}) supplied with CRP of AgI and leading to environmental pollution; the values of N_{ahr} there is an increase in average annual number of cancer diseases (N_{od}) on the protected territories of Andropovskiyi and Kochubeevskiyi districts. For the objective evaluation of the N_{ahr} effect on the number of skin cancer (N_{sc}) and respiratory organs (N_{ro}) regression equations were constructed, pair correlation and determination coefficients connecting the values of N_{ahr} with N_{sc} and N_{ahr} with N_{ro} were calculated. As these coefficient values proved to be more than the critical value given in the Student's allocation table they are reliable and can serve as a proof of the relation between N_{ahr} and N_{sc} values and between N_{ahr} and N_{sc} values of Andropovskiyi and Kochubeevskiyi districts. The objective method of hail breaking on the protected areas based on estimating optimal application and firing rates in these clouds has been worked out. From 2003 to 2007 the method was being experimentally checked on the stuffs of the protected area of Stavropol militarized service on active hail influencing and other geophysical processes. It was successfully implemented into operational activities of this service. The average physical efficiency of anti-hail protection was estimated at 95,7%. This method can be recommended to different countries when planning and carrying out scientific, experimental and production activities on influencing hailing.

Ключевые слова: засеянные градовые облака, противоградовая защита йодистое серебро, предельно допустимые концентрации, онкологические заболевания.

Key words: sewn hail clouds, anti-hail protection, argentum iodide, maximum permissible concentrations, cancer diseases.

ВВЕДЕНИЕ

Противоградовая защита (ПГЗ) в Ставропольском крае была начата в 1995 г. В ее основу положена концепция ускорения процесса осадкообразования в зоне формирования условий для зарождения и роста града объектов воздействия (ОВ) 1–4-й категории [1, 3]. Засев ОВ осуществлялся противоградовыми ракетами (ПГР) «Алазань-6» («А-6»), диспергирующими частицы кристаллизующего реагента (ЧКР) йодистого серебра (AgI) и продукты их сгорания на уровне изотермы минус 6 ± 3 °С (на высотах $H \approx 4\text{--}5$ км над у. м.). До 1999 г. физическая эффективность ПГЗ составляла не более 65%.

С 2000 г. в ПГЗ Ставропольского края были привлечены новые разработанные методы воздействия на градовые процессы [5, 6, 8–11, 14, 15], совершенствованные методы критериев засева ОВ 2-й категорий [12] и методы оценки годовых норм расхода ПГР в текущем году и в сезоне следующего года [9]. В результате на защищаемой территории (ЗТ) Ставропольского края в 2003–2007 гг. было отмечено увеличение: годовых норм расхода количества ПГР ($N_{\text{ПГР}}$) «А-6» от 1990 до 4572 шт.; физической эффективности (ФЭ) ПГЗ – от 87,5 до 99,9%; рентабельности (Р) – от 3 до 9,3 руб.

Увеличение количества $N_{\text{ПГР}}$ «А-6» можно объяснить как расширением площадей защищаемой территории (ЗТ) от 590 до 680 тыс. га, так и увеличением интенсивности развития градовых процессов в районах Ставропольского края. Для их подавления требовался более массивованный засев ОВ 1–4-й категорий ПГР «А-6», снаряженных ЧКР AgI.

Увеличение на ЗТ количества ПГР «А-6» и/или массы AgI (M_{AgI}), при проведении ПГЗ, может сыграть как положительную, так и отрицательную роль. Положительный эффект проявляется в уменьшении числа градобитий и увеличении физической и экономической эффективности ПГЗ, а отрицательный эффект – в увеличении загрязненности атмосферы, почвы и воды в открытых водоемах [2, 16, 17] и количества различных болезней.

Целью представленной работы является оценка влияния на организм человека ЧКР AgI и продуктов сгорания ПГР «А-6» после их вступления в реакцию с различными химическими веществами и соединениями в атмосфере, почве и воде, способствующих появлению онкологических заболеваний кожи (ЗК), органов дыхания (ОД) и желудочно-кишечного (ЖКТ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Материалы исследований

В основу материалов исследования были положены значения: — радиолокационных параметров засеянных ОВ 1–4-й категорий, развивающихся на ЗТ Ставропольского края в мае-сентябре 2003–2006 гг.;

- площадей ($S_{iЗТ}$) и объемов ($S_{iЗТ}$, м³) распространения ЧКР AgI на ЗТ Андроповского ($S_{ЗТ Ан.} = 2363$ км²), Кочубеевского ($S_{ЗТ Ко.} = 2388$ км²), Шпаковского ($S_{ЗТ Шп.} = 819$ км²) и КТ Красногвардейского ($S_{КТ Кр.} = 2263$ км²) районов Ставропольского края, отделенные друг от друга буферной зоной, в качестве которой привлекался Изобильненский район (рис. 1);
- объемов распространения ЧКР AgI, которые рассчитывались с помощью уравнения:

$$V_{iЗТ} = S_{iЗТ} \cdot \Delta H, \quad (1)$$

- где $\Delta H \approx 5$ км – мощность слоя распространения ЧКР AgI в атмосфере исследуемой территории; $S_{iЗТ}$ (км²) – площадь i -й ЗТ;
- годового количества засеянных ОВ 1–4-й категорий ($N_{ОВ}$, шт.) и норм расхода в них количества ПГР «А-6» ($N_{ПГР}$, шт. «А-6»);
 - годовых норм расхода количества массы AgI ($M_{1i AgI}$, кг и $M_{2i AgI}$, мг) в ОВ 1–4-й категорий, которые рассчитывались с помощью уравнения:

$$M_{2i AgI} = N_{ПГР} \cdot m, \quad (2)$$

- где $m = 26,4$ г – масса AgI, содержащаяся в одной ПГР «Ал-6»;
- годовых норм расхода массы ЧКР AgI $M_{i2 AgI}$ (мг) на единицу площади ЗТ ($S_{iЗТ}$, см²), которые рассчитывались с помощью уравнения:

$$Q_{i2 AgI} = M_{i2 AgI} / S_{iЗТ}, \quad (3)$$

- где $Q_{i2 AgI}$ (мг/см²);
- годовых норм расхода массы ЧКР AgI $M_{i2 AgI}$ (мг) в единице объема ЗТ, (Q_{2i} мг/м³), которые рассчитывались с помощью уравнения:

$$Q_{2i2 AgI} = M_{i2 AgI} / V_{iЗТ}, \quad (4)$$

- где $Q_{2 AgI i}$ (мг/м³);
- $N_{ЗК}$, $N_{ОД}$, и $N_{ЖКТ}$ человека на ЗТ районов Ставропольского края.

1.2. Методы исследований

Методы исследований предусматривали:

- выбор районов КТ и буферной зоны относительно районов ЗТ с учетом аэросиноптических условий, наблюдаемых в регионе Центрального Кавказа и характеризующихся воздушными массами и ОВ 1–4-й категорий, имеющих в 70–80% от всех взятых случаев западную составляющую перемещения (рис. 1) [7, 13, 14, 16]
- расчет статистических характеристик параметров $N_{\text{ОВ}}$, $N_{\text{ПГР}}$, $M_{1i\text{AgI}}$, $M_{2i\text{AgI}}$, $Q_{1i2\text{AgI}}$, $Q_{2i2\text{AgI}}$, $N_{\text{ЗК}}$, $N_{\text{ОД}}$ и $N_{\text{ЖКТ}}$;
- оценку различия между соответствующими значениями параметров, рассчитанных на ЗТ Андроповского (Ан.), Кочубеевского (Ко.), Шпаковского (Шп.) и на контрольной территории (КТ) Красногвардейского (Кр.) районов Ставропольского края, с привлечением непараметрических U -критериев Манна-Уитни [18]; расхождения между этими параметрами являются статистически значимыми при $n_1 = n_2 = 4$ (число лет) и уровне значимости $\alpha = 0,05$ (критерий двусторонний), когда наблюдаемое значение U_1 больше верхнего значения, приведенного в таблице или равно ему ($U_1 \geq U_{1T}$) а U_2 – меньше нижнего значения, или равно ему ($U_2 \geq U_{2T}$);
- построение уравнений регрессии, связывающие годовые нормы расхода количества $N_{\text{ПГР}}$ «А-6» и/или массы AgI $M_{2i\text{AgI}}$ с $N_{\text{ЗК}}$ и $N_{\text{ОД}}$ на ЗТ Ан., Ко. и Шп. и КТ Кр. районов Ставропольского края.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

2.1. Обоснование выбора ЗТ Ставропольского края как объекта для оценки влияния ЧКР AgI на организм человека

Выбор Ставропольского края, как объекта для исследования, был обусловлен высокой стабильностью результатов статистических характеристик: засеянных ОВ 1–4-й категорий ($N_{\text{ОВ}} = 291$ шт.), норм расхода количества ПГР «Алазань» ($N_{\text{ПГР}} = 3659,6$ шт.), физической и экономической эффективности ПГЗ ($\mathcal{E}_\Phi = 97,6\%$ и $\mathcal{E}_\mathcal{E} = 360$ млн руб. соответственно), с соответствующими значениями среднеквадратических отклонений (σ) и вариаций (V). Для $N_{\text{ОВ}}$ $\sigma = 131,3$ шт., а $V = 0,45$; $N_{\text{ПГР}}$ «Алазань-6» $\sigma = 1346$ шт., а $V = 0,37$; \mathcal{E}_Φ $\sigma = 5,2\%$, а $V = 0,05$; $\mathcal{E}_\mathcal{E}$ $\sigma = 313,5$ млн руб., а $V = 0,87$. Выше приведенные результаты являются лучшими среди ВС РФ. получены не с помощью:

- метода конкуренции [19] и действующего метода УПО [1, 3], а с помощью двух новых разработанных методов воз-

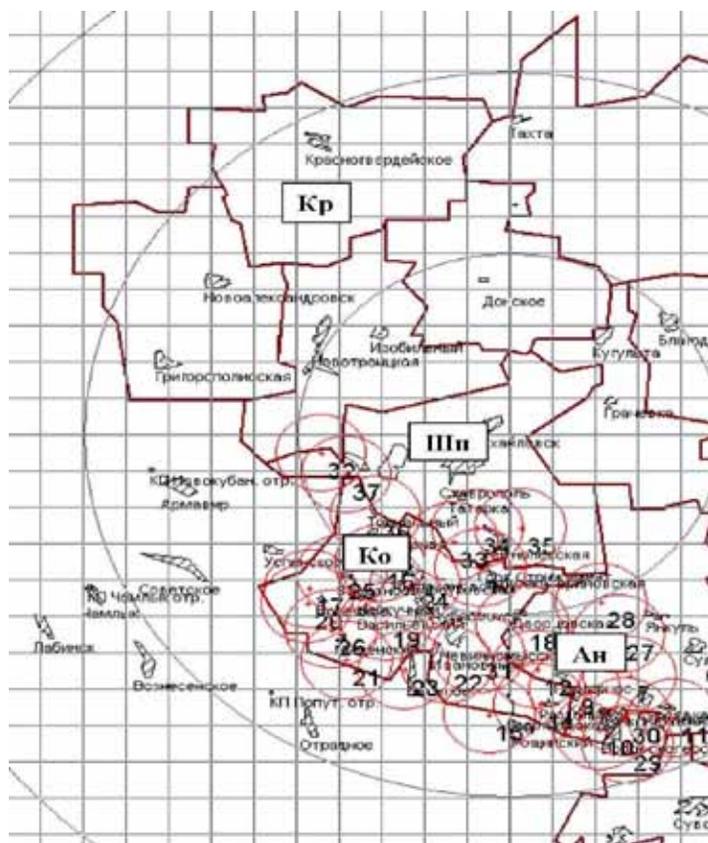


Рис. 1. Расположение ЗТ в Ан, Ко, Шп. и КТ Кр районах Ставропольского края.

действия, включающих в себя: «Метод прерывания града на подступах защищаемой территории со стороны вторжения градовых облаков [14] и «Метод прерывания града на защищаемых территориях региона Центрального Кавказа» [15], которые не имеют аналога, подтверждены патентом [8] и внедрены в производственных работах ПГЗ, проводимой Ставропольской ВС по настоящее время;

- существующих критериев засева ОВ 1–4-й категорий [1, 3], а с помощью усовершенствованного критерия засева ОВ 2-й категорий [12];
- существующего метода оценки годовых норм расхода ПГР в текущем году [1], а с помощью усовершенствованного метода оценки норм расхода количества ПГР ($N_{ПГР}$) «А-6» и его переходящего запаса в сезоне следующего года [9].

ЗТ включала в себя Ан., Ко. и Шп., а КТ – Кр. районы Ставропольского края (рис. 1).

2.2. Химические превращения AgI в атмосфере при проведении ПГЗ

Согласно ГОСТ 12.1.007–76 ЧКР AgI и продукты его сгорания относятся к высоко опасным веществам 2–4-го класса. Они могут оказать вредное физическое воздействие (ВФВ) на окружающую среду, вызывая загрязнение атмосферного воздуха, почвы и воды в открытых водоемах [16]; появление различных болезней, в том числе, и онкологических. Основным загрязнителем считается AgI, предельный выброс которого не должен превышать ПДК, равных в атмосфере 0,5 мг/м³, в воде водоемов 0,05 мг/л и почве 2820 мг/л [4].

Рассмотрим, какие химические реакции могут наблюдаться в период проведения ПГЗ после попадания ЧКР AgI и продуктов его сгорания в атмосфере [13].

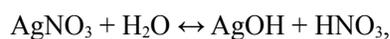
На свету AgI разлагается образованием частиц йода и серебра:



Йод, вступая в реакцию с водой, образует:

- йодоводородную кислоту $\text{I}_{2(\text{ТВ})} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H} + \text{HIО}$;
- йодноватую кислоту $5\text{HIО} \rightarrow \text{HIО}_3 + 2\text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{I}_2 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HIО}_3 + 5\text{O}_2$;
- серную кислоту $\text{I}_2 + \text{SO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HI} + \text{H}_2\text{SO}_4$.

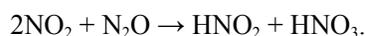
В состав реагента входит нитрат серебра, который в атмосфере, подвергаясь гидролизу, образует азотную кислоту:



а под действием грозových разрядов разлагается на



NO_2 , взаимодействуя с водой, дает азотную и азотистую кислоты:



Приведенные выше химические реакции показывают, что процессы, происходящие в атмосфере при попадании в нее AgI и продуктов его сгорания, способствуют образованию различных кислот и до-

полнительно повышают кислотность выпадающих атмосферных осадков [17].

Йод в небольших дозах угрозы для здоровья не представляет, а в больших концентрациях оказывает разрушительное воздействие на белковые структуры клеток тела. Он хорошо всасывается из пищеварительного тракта в кровь, после чего наступает общее отравление с признаками поражения центральной нервной системы, печени, сердечно-сосудистой системы и почек. Смертельная доза для взрослого человека, в пересчете на кристаллический йод, составляет 2 грамма.

Серебро – важный для организма микроэлемент, необходимый для нормального функционирования желез внутренней секреции, мозга и печени. Но серебро является тяжелым металлом и его насыщенные растворы не полезны человеку. При приеме 2 г солей серебра возникают токсические явления, а при дозе в 10 г вероятен летальный исход.

При изучении бактерицидных свойств серебра было выявлено, что решающую роль здесь играют положительно заряженные ионы серебра (AgI^+), ионизация которых повышает активность в водных растворах. Катионы серебра подавляют деятельность фермента, обеспечивающего кислородный обмен у простейших микроорганизмов болезнетворных бактерий, вирусов и грибков (порядка 700 видов патогенной «флоры» и «фауны»). Скорость их уничтожения зависит от концентраций ионов серебра в растворе. Доказано, что серебро в ионном виде обладает бактерицидным, противовирусным, выраженным противогрибковым и антисептическим действием и служит высокоэффективным обеззараживающим средством в отношении патогенных микроорганизмов, вызывающих острые инфекции.

Действие серебра специфично не по инфекции (как у антибиотиков), а по клеточной структуре. Любая клетка без химически устойчивой стенки подвержена воздействию серебра. Особый интерес представляет действие ионов серебра на клетки микроорганизма. Обнаружено, что при инкубации костного мозга мышей и микроорганизмов в растворе, содержащем ионы серебра, морфология эритроцитов и лейкоцитов оставалась неизменной, тогда как микроорганизмы полностью уничтожались. В настоящее время широкое применение получили нанотехнологии создания и использования наноразмерных частиц серебра, имеющих размеры 25–45 нм и чрезвычайно большую удельную площадь поверхности. Это позволяет увеличить область контакта с бактериями и вирусами, значительно улучшая его бактерицидные действия. Они успешно могут быть применены и в ПГЗ, что позволит в сотни раз снизить их концентрацию с сохранением всех бактерицидных свойств.

2.3. Статистические характеристики параметров, применяемых в ПГЗ

2.3.1. Исследование связи засеянных АгI с $N_{ПГР}$ «А-6»

Для оценки ВФВ АгI и продуктов его сгорания на живые организмы важно знать количество засеянных ОВ 1–4-й категорий и израсходованных в них ПГР «А-6». В табл. 1 представлены статистические характеристики (средних-средних, среднеквадратичных отклонений – σ) засеянных ОВ 1–4-й категорий ($N_{ОВ}$), развивающихся на ЗТ районов Ставропольского края. Распределения числа:

- ОВ 1–2-й и 3-й категорий характеризуются цикличностью с двумя максимумами (в июне 47 и 23,5 и августе 48 и 28,3 соответственно), а ОВ 4-й категорий;
- одновершинным максимумом в августе (5,5 случаев). Полученные результаты обусловлены синоптическими процессами, развивающихся в Центральных районах Северного Кавказа.

Формирование ОВ 1–4-й категорий, развивающихся на ЗТ Ставропольского края:

- в мае, июле и сентябре обуславливалось внутримассовыми процессами, прохождением слабых холодных и теплых фронтов и фронтов окклюзии [Ват], количество которых достигало $N_{ОВ} = 98,4$ шт.;
- в июне и августе – прохождением хорошо выраженных в поле давления, температуры и влажности холодных фронтов и фронтов окклюзии по типу холодного, в сопровождении интенсивных ливней, катастрофических градобитий и сильных шквалов, количество которых достигало $N_{ОВ} = 155$ шт.

В табл. 2. представлено распределение средних месячных норм расхода количества ПГР «А-6» на ЗТ районов Ставропольского края. В мае, июле и сентябре было израсходовано 1320 шт., а в июне и августе – 1980 шт. «А-6».

Совместный анализ табл. 1 и табл. 2 позволил выявить увеличение количества $N_{ПГР}$ «А-6» с увеличением засеянных $N_{ОВ}$, обусловленных синоптическими процессами, сопровождающихся интенсивными градовыми процессами и катастрофическими градобитиями. В мае, июле и сентябре количество $N_{ОВ} = 98,4$ шт. ОВ, а $N_{ПГР} = 1320$ шт. «А-6», в июне и августе $N_{ОВ} = 155$ шт. ОВ, а $N_{ПГР} = 1980$ шт. «А-6». Это может повлиять на загрязнение окружающей среды ЧКР АгI, способствующих появлению различных болезней, в том числе и онкологических. Оценка различия в расхождении значений параметров $N_{ОВ}$ и $N_{ПГР}$ между избранными месяцами является статистически значимой.

Таблица 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАСЕЯННЫХ ОВ 1-4-Й КАТЕГОРИЙ НА ЗТ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Статистические характеристики	Месяц					
	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
ОВ 1–2-й категории						
$N_{\text{ОВ}}$, шт.	21,5	47,0	38,5	48,0	6,3	161,3
$\sigma_{N_{\text{ОВ}}}$, шт.	12,4	47,4	25,0	31,0	4,0	96,5
ОВ 3-й категории						
$N_{\text{ОВ}}$, шт.	6,0	23,5	15,0	28,3	6,8	79,6
$\sigma_{N_{\text{ОВ}}}$, шт.	1,8	16,6	9,5	5,0	5,7	26,7
ОВ 4-й категории						
$N_{\text{ОВ}}$, шт.	–	3	3,5	5,5	0,8	12,8
$\sigma_{N_{\text{ОВ}}}$, шт.	–	4,4	3,8	5,7	0,7	6,7

Таблица 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ МЕСЯЧНЫХ И ГОДОВЫХ НОРМ РАСХОДА ПГР «А-6» В РАЙОНАХ ЗТ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Район	Месяц					
	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
Ан.	104,2	271,5	205,7	325,4	59,6	966,4
Ко.	102,0	600,5	505,3	615,2	101,0	1924,0
Шп.	41,0	72,0	187,3	95,5	14,4	410,2
Всего	247,2	944,0	898,3	1036,1	175,0	3300,6

2.3.2. Исследование связи между $N_{\text{ПГР}}$ «А-6» с $N_{\text{ОЗ}}$

В табл. 3 представлены значения параметров, необходимых для оценки влияния AgI на онкологические заболевания человека. При ее составлении исходили из следующих соображений. Если в одной ПГР «А-6» содержится 26,4 г AgI, то средний годовой расход ПГР на ЗТ:

- Ан. района в количестве $N_{\text{ПГР}} = 996,5$ шт. «А-6» составит соответственно: $M_{1i\text{AgI}} = 25,5$ кг AgI; и $M_{2i\text{AgI}} = 2,6 \cdot 10^7$ мг; $Q_{1i\text{AgI}/S_{\text{ЗТ}}} = 1 \cdot 10^{-3}$ мг/см²; $Q_{2i\text{AgI}/V_{\text{ЗТ}}} = 2,2 \cdot 10^{-6}$ мг/м³;

- Ко. района в количестве $N_{\text{ПГР}} = 1924$ шт. «А-6» составит соответственно: $M_{1\text{AgI}} = 50,8$ кг AgI; и $M_{2\text{AgI}} = 5,1 \cdot 10^7$ мг, $Q_{1\text{AgI}/S_{3\text{T}}} = 2 \cdot 10^{-3}$ мг/см²; $Q_{2\text{AgI}/V_{3\text{T}}} = 4,3 \cdot 10^{-6}$ мг/м³;
- Шп. района в количестве $N_{\text{ПГР}} = 410,2$ шт. «А-6» составит $M_{1\text{AgI}} = 10,8$ кг AgI; и $M_{2\text{AgI}} = 1,2 \cdot 10^7$ мг, $Q_{1\text{AgI}/S_{3\text{T}}} = 1 \cdot 10^{-3}$ мг/см²; $Q_{2\text{AgI}/V_{3\text{T}}} = 3 \cdot 10^{-6}$ мг/м³;
- Ставропольского края в количестве $N_{\text{ПГР}} = 3300,7$ шт. «А-6» составит $M_{2\text{AgI}} = 87,1$ кг AgI и $M_{2\text{AgI}} = 8,7 \cdot 10^7$ мг; $Q_{1\text{AgI}/S_{3\text{T}}} = 1,6 \cdot 10^{-3}$ мг/см²; $Q_{2\text{AgI}/V_{3\text{T}}} = 3,1 \cdot 10^{-6}$ мг/м³.

Допускалось, что ЧКР AgI полностью остаются на ЗТ Ставропольского края. Значения параметров, $V_{3\text{T}}$, $M_{2\text{AgI}}$, $Q_{1\text{AgI}/S_{3\text{T}}}$ и $Q_{2\text{AgI}/V_{3\text{T}}}$ рассчитывались с помощью формул (1)–(4), приведенных в разделе «Материалы исследований» этой статьи. В табл. 3 также представлены значения площадей ЗТ ($S_{3\text{T}}$) и мощностей слоя ($\Delta N_{3\text{T}}$), распространения AgI.

В табл. 4 представлено распределение статистических характеристик (средних-средн., среднеквадратических отклонений – σ и вариаций – V) средних годовых норм расхода количества: $N_{\text{ПГР}}$, $M_{2\text{AgI}}$, $Q_{1\text{AgI}/S_{3\text{T}}}$ и $Q_{2\text{AgI}/V_{3\text{T}}}$ на ЗТ Ан. (числитель) и Ко. (знаменатель) районов Ставропольского края. Из таблицы следует, что значения $N_{\text{ПГР}}$, на ЗТ: Ан. района изменяются от 676 до 1272, составляя в среднем 966,5 шт. «А-6», а на ЗТ Ко. района – от 1129 до 2841, составляя в среднем 1924 шт. «А-6». Расхождение между их средними годовыми нормами расхода ПГР «А-6» на ЗТ Ан. и Ко. районов, является существенным, так как $U_1 = 15 = U_{1\text{T}} = 15$ и $U_2 = 1 = U_{2\text{T}} = 1$. На статистически значимом уровне различаются также значения $M_{2\text{AgI}}$, $Q_{1\text{AgI}/V_{3\text{T}}}$ и $Q_{2\text{AgI}/V_{3\text{T}}}$.

В таблице 5 представлены статистические характеристики среднего годового количества онкологических заболеваний кожи ($N_{\text{ЗК}}$) и органов дыхания ($N_{\text{Од}}$) на ЗТ и КТ районов Ставропольского края.

Значения $N_{\text{ЗК}}$ на ЗТ Ан. района изменяется от 8 до 17, составляя в среднем 13,2; Ко. района – от 40 до 48, составляя в среднем 43,8; Шп. района – от 46 до 75, составляя в среднем 64,1 и на КТ Кр. района – от 26 до 31, составляя в среднем 28,8. На ЗТ Ко. района среднее значение $N_{\text{ЗК}} = 43,8$ в 3 раза больше значения, наблюдаемого на ЗТ Ан. района ($N_{\text{ЗК}} = 13,2$) и 1,5 раза больше значения, наблюдаемого на КТ Кр. района ($N_{\text{ЗК}} = 28,8$), но в 1,5 раза меньше значения, наблюдаемого на ЗТ Шп. района ($N_{\text{ЗК}} = 64,1$) [13].

Значения $N_{\text{Од}}$ на ЗТ Ан. района изменяются от 8 до 21, составляя в среднем 14,3; Ко. района – с 36 до 44, составляя в среднем 40,5; Шп. района – от 39 до 47, составляя в среднем 43,8; а на КТ Кр. района – с 19 до 21, составляя в среднем 19,5. На ЗТ Ко. района среднее значение $N_{\text{Од}} = 40,5$ почти в 3 раза больше значения, наблюдаемого на ЗТ Ан. района ($N_{\text{ЗК}} = 14,3$) и в 2 раза больше значения, наблюдаемого на КТ Кр. района ($N_{\text{ЗК}} = 19,5$), но на 3, меньше наблюдаемого на ЗТ Шп. района ($N_{\text{ЗК}} = 43,8$).

Таблица 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НА ЗТ РАЙОНОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Район	$S_{ЗТ}$, км ²	$\Delta H_{ЗТ}$, км,	$V_{ЗТ}$, м ³	$N_{ПГР}$, шт.	M_{1iAgI} , кг	M_{2iAgI} , мг	$Q_{1iAgI/S_{ЗТ}}$, мг/см ²	$Q_{2iAgI/V_{ЗТ}}$, мг/м ³
Ан.	2388	5	1,2 · 10 ¹³	966,5	25,5	2,6·10 ⁷	1·10 ⁻³	2,2·10 ⁻⁶
Ко.	2363	5	1,2 · 10 ¹³	1924,0	50,8	5,1·10 ⁷	2·10 ⁻³	4,3·10 ⁻⁶
Шп.	819	5	0,4 · 10 ¹³	410,2	10,8	1,1·10 ⁷	1·10 ⁻³	2,8·10 ⁻⁶
Всего	5570	5	2,8 · 10 ¹³	3300,7	87,1	8,7·10 ⁷	1,6·10 ⁻³	3,1·10 ⁻⁶

Таблица 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАМЕТРОВ $N_{ЗК}$, M_{2iAgI} , Q_{1iAgI} И Q_{2iAgI} НА ЗТ АН. (ЧИСЛИТЕЛЬ) И КО (ЗНАМЕНАТЕЛЬ) РАЙОНОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Район	Годы				Статистические характеристики				Оценка
	2003	2004	2005	2006	Всего	Средн.	σ	V	
Годовые нормы расхода количества ПГР ($N_{ПГР}$), шт.									
Ан.	861	1272	1054	676	3866	966	256	0,26	+
Ко.	1129	2841	1844	1882	7696	1924	703	0,36	
Годовые нормы расхода массы AgI ($M_{2iAgI} = A \cdot 10^6$ мг/м ³)									
Ан.	22,7	33,6	27,9	17,8	102	25,5	6,8	0,26	+
Ко.	29,8	75	48,7	49,7	203	50,8	18,5	0,36	
Годовые нормы расхода массы AgI на единицу площади ($Q_{1iAgI/S_{ЗТ}} = A \cdot 10^{-2}$ мг/см ²)									
Ан.	0,9	1,4	1,2	0,7	4,2	1,1	0,3	0,26	+
Ко.	1,3	3,2	2,3	2,1	8,9	2,2	0,8	0,36	
Годовые нормы расхода массы AgI в единице объема ($Q_{2iAgI/V_{ЗТ}} = A \cdot 10^{-6}$ мг/м ³)									
Ан.	1,9	2,8	2,3	1,5	8,5	2,2	0,6	0,16	+
Ко.	2,5	6,3	4,1	4,2	17,1	4,3	1,6	0,23	

Расхождения между средних значений параметров $N_{ЗК}$ и $N_{Од}$, наблюдаемых на ЗТ Ко., Ан., Шп. и КТ Кр. являются статистически значимыми [18], так как выполняется следующее условие: $U_1 = 16 > U_{1T} = 15$ и $U_2 = 0 < U_{2T} = 1$. Исключение составляет значения $N_{Од}$ на ЗТ Ан. ($N_{Од} = 14,3$) и КТ Кр. ($N_{Од} = 19,5$) районов, где расхождение между ними являются статистически не значимыми: $U_1 = 12,5 < U_{1T} = 15$; $U_2 = 3,5 > U_{2T} = 1$ [18]. Это обозначается знаком «→» в последнем столбце «Оценка» табл. 5.

Рассмотрим, что является причиной столь значимого увеличения числа онкологических заболеваний ($N_{ЗК}$ и $N_{Од}$) в Шп. районе при сравнительно низких значениях следующих параметров: $N_{ЗТ}$, $N_{ПГР}$, M_{2iAgI} , $Q_{1iAgI/S_{ЗТ}}$ и $Q_{2iAgI/V_{ЗТ}}$.

Исследования показывают, что на Северном Кавказе воздушные потоки в 70–80% от всех взятых случаев имеют западную составляющую перемещения [7, 10, 14]. Такую составляющую перемещения имеют и большинство засеянных ОВ 1–4-й категории на ЗТ Ан., Ко. (навстречная сторона) и Шп. (подветренная сторона) районов Ставропольского края (рис. 1). В реальной атмосфере засеянные ОВ, перемещаясь по направлению ведущего потока, могут существенно уменьшить концентрацию AgI и его производных на ЗТ Ан. и Ко. районов и увеличить их не только на ЗТ Шп. района, но и на контрольной территории (КТ) Кр. района, расположенной с подветренной от ЗТ стороны. Выше сказанное может оказаться одной из возможных причин увеличения числа онкологических заболеваний на ЗТ Шпаковского района и требует дальнейших экспериментальных исследований.

Таблица 5. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ЗТ И КТ РАЙОНОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Район	Годы				Статистические характеристики				Оценка
	2003	2004	2005	2006	$\Sigma N_{оз}$	$N_{од}$	$\sigma_{од}$	$V_{оз}$	
Заболевание кожи ($N_{зк}$)									
Ан.	13	17	15	8	53	13,2	3,9	0,29	(+)
Ко.	41	48	40	46	175	43,8	3,9	0,02	
Ан. Кр.	13	17	15	8	53	13,2	3,9	0,29	(+)
	29	31	29	26	115	28,8	2,1	0,02	
Ко.	1	48	40	46	175	43,8	3,9	0,02	(+)
Кр.	9	31	29	26	115	28,8	2,1	0,02	
Заболевание органов дыхания ($N_{од}$)									
Ан.	21	16	8	12	57	14,3	5,6	0,08	(+)
Ко.	36	41	41	44	162	40,5	3,3		
Ан. Кр.	21	16	8	2	57	14,3	5,6	0,39	(-)
Кр.	21	18	19	20	78	19,5	1,5	0,08	
Ко.	36	41	41	4	62	40,5	3,3	0,08	(+)
Кр.	21	18	9	20	78	19,5	1,5	0,08	

Совместный анализ табл. 3-табл. 5, составленных для ЗТ Ан. ($S_{зт} = 2363 \text{ км}^2$), Ко. ($S_{зт} = 2388 \text{ км}^2$) и Шп. ($S_{зт} = 819 \text{ км}^2$) районов, позволил выявить тенденцию увеличения годового количества онкологических заболеваний кожи ($N_{зк}$), органов дыхания ($N_{од}$) с увеличением значений $N_{пгп}$ «А-6», M_{2iAgI} , $Q_{1iAgI/S_{зт}}$ и $Q_{2iAgI/V_{зт}}$. В Ан. районе значения $N_{пгп} = 966,5$ шт. «А-6», а $N_{зк} = 13,2$ шт., Ко. районе $N_{пгп} = 1924$ шт. «А-6», а $N_{зк} = 43,8$ шт., Шп. районе $N_{пгп} = 410,2$ шт. «А-6», а $N_{зк} = 64,1$ шт. Такая же закономерность отмечается и при изучении $N_{од}$.

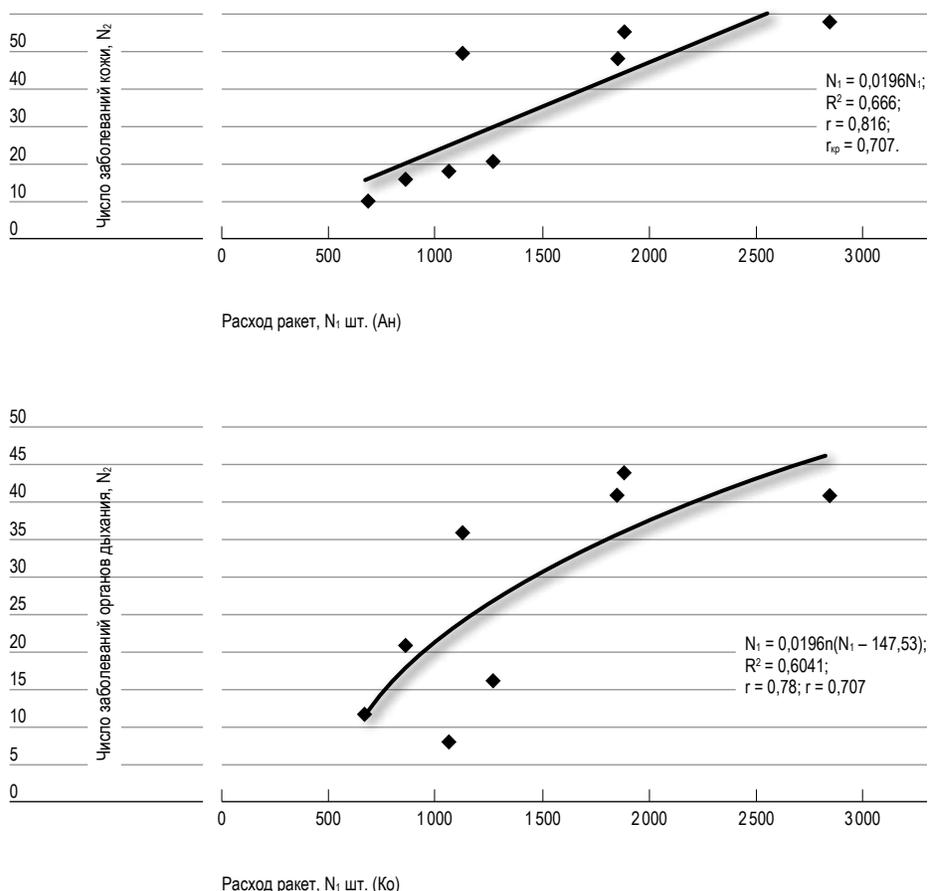


Рис. 2. График связи $N_{\text{ЗК}}$ и $N_{\text{ОД}}$ с $N_{\text{ПГР}}$ на ЗТ Андроповского и Кочубеевского районов Ставропольского края.

Из анализа таблицы 5 следует, что число онкологических заболеваний на ЗТ больше, чем на КТ, что подтверждает выше полученные предварительные выводы о возможном влиянии AgI и продуктов его соединения (йодоводородной, йодноватой, азотной и серной кислот) на организм человека. В то же время оценка, проведенная с привлечением U -критерия Манна-Уитни [11], показала не значимость расхождения между числом анализируемых болезней, наблюдаемых на ЗТ и КТ Ставропольского края.

Значения $Q_{2i\text{AgI}/V_{\text{ЗТ}}}$ в Ан., Ко и Шп. в районах Ставропольского края соответственно достигают $2,2 \cdot 10^{-6}$, $4,3 \cdot 10^{-6}$ и $3 \cdot 10^{-6}$ $\text{мг}/\text{м}^3$ и на 4–5 порядков меньше существующих ПДК, равных в атмосфере $0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$ или $5 \cdot 10^{-1} \text{ мг}/\text{м}^3$.

Оценки показывают, что для достижения значений концентраций $Q_{2iAgI/V_{3T}}$ концентраций ПДК AgI потребуется не менее 170 тыс. лет. Если учесть, что AgI является еще и мигрирующим веществом, то для достижения уровня ПДК потребуется еще больше времени. Поэтому применение общеизвестных ПДК в оценках влияния ЧКР AgI на организм человека, являются неприемлемым, требует разработки новых ПДК с привлечением наноразмерных частиц AgI.

Чтобы сделать объективные выводы о влиянии $N_{ПГР}$, M_{2iAgI} и $Q_{1iAgI/S_{3T}}$ $Q_{2iAgI/V_{3T}}$ на количество $N_{ЗК}$ и $N_{ОД}$, были построены уравнения регрессии и рассчитаны коэффициенты парной корреляции (r) и детерминации (R^2), характеризующие тесноту связи между этими параметрами на ЗТ Ан. и Ко. районов.

Графики связи представлены на рис. 2. Видно, что расчетные значения коэффициентов парной корреляции, связывающие онкологические заболевания кожи и органов дыхания с годовыми нормами расхода ПГР равны соответственно 0,816 и 0,78. Так как значения этих коэффициентов корреляции больше критического значения ($r_{кр} = 0,707$), при числе степеней свободы $k = N - 2 = 6$ и $\alpha = 0,05$, приведенного в таблице распределения Стьюдента, то они являются надежными и могут служить доказательством существования статистических связей между $N_{ПГР}$ и $N_{ЗК}$ и между $N_{ПГР}$ и $N_{ОД}$.

ВЫВОДЫ

1. Формирование количества ОВ 1–4-й категорий обусловлено синоптическими процессами, сопровождающихся: внутримассовыми процессами; прохождением холодных и теплых фронтов и фронтов окклюзии различной интенсивности; катастрофическими градобитиями и сильными шквалами.
2. С увеличением на ЗТ Ставропольского края количества засеянных ОВ 1–4-й категорий увеличивается количество месячных и годовых норм расхода противораковых ракет «А-6». Например, в мае, июле и сентябре $N_{ОВ} = 98,4$ шт. ОВ, а $N_{ПГР} = 1320$ шт. «А-6», в июне и августе $N_{ОВ} = 155$ шт. ОВ, а $N_{ПГР} = 1980$ шт. «А-6», что может привести к загрязнению окружающей среды Ставропольского края ЧКР AgI, способствующих появлению различных болезней.
3. С увеличением значений норм расхода $N_{ПГР}$, M_{2iAgI} , $Q_{1iAgI/S_{3T}}$ и $Q_{2iAgI/V_{3T}}$ увеличивается $N_{ЗК}$ и $N_{ОД}$ (это отмечается в 67% от всех взятых случаев). Например, в Андроповском районе значение $N_{ПГР} = 966,5$ шт. «А-6», а $N_{ЗК} = 13,2$ шт. заболеваний, в Кочубеевском районе $N_{ПГР} = 1924$ шт. «А-6», а $N_{ЗК} = 43,8$ шт. заболеваний.

4. Средние годовые нормы расхода массы AgI в единице объема облачного воздуха ($Q_{2iAgI/V_{3T}}$) в Ан., Ко. и Шп. районах достигают соответственно $2,2 \cdot 10^{-6}$, $4,3 \cdot 10^{-6}$ и $3 \cdot 10^{-6}$ и на 4–5 порядка меньше существующих ПДК AgI, равных в атмосфере $0,5 \text{ мг/м}^3$ или $5 \cdot 10^{-1} \text{ мг/м}^3$. Оценки показывают, что на ЗТ Ставропольского края, для достижения значений $Q_{2iAgI/V_{3T}}$ значений ПДК потребуется не менее 170 тыс. лет.
5. Применение общеизвестных ПДК в оценках влияния ЧКР AgI на организм человека, является неприемлемым, требует разработки новых ПДК с привлечением наноразмерных частиц AgI.
6. Построены уравнения регрессии и рассчитаны коэффициенты парной корреляции (r) и детерминации (R^2), характеризующие тесноту связи между параметрами норм расхода $N_{ПГР}$, M_{2iAgI} , $Q_{2iAgI/S_{3T}}$, $Q_{2iAgI/V_{3T}}$ и параметрами $N_{ЗК}$ и $N_{ОД}$, наблюдаемых на ЗТ Ан. и Ко. районов. Так как значения этих коэффициентов корреляции (0,816 и 0,78) больше критического значения ($r_{кр} = 0,707$), при числе степеней свободы $k = N - 2 = 6$ и $\alpha = 0,05$, то они являются надежными и могут служить доказательством существования связей между $N_{ПГР}$ и $N_{ЗК}$, $N_{ПГР}$ и $N_{ОД}$.
7. Приведенные в данной работе онкологические заболевания, по всей видимости, могли быть вызваны и другими не известными нам причинами, требующих дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Абшаев М.Т. Активное воздействие на градовые процессы // Руководящий документ РД. 52.37.596-98. М, 1998. 32 с.
2. Абшаев М.Т., Малкарова А.М. Экологическая безопасность Российской технологии ПГЗ // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик, 2005. С. 409–414.
3. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М., Баркова М.В. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. Нальчик: Печатный двор, 2014. 500 с.
4. Безопасные уровни загрязнения вредных веществ в окружающей среде. Свердловск: Научно-исследовательский институт общей коммунальной гигиены им. А.Т Сысына АМН СССР, 1990.

5. Березкин В.В., Ватиашвили М.Р., Макитов В.С., Федченко Л.М. Оценка времени достижения эффекта воздействия на градовые процессы // Труды ВГИ. 1991. Вып. 80. С. 149–156.
6. Ватиашвили М.Р., Березкин В.В., Бахсолиани М.Г. Исследование норм расхода реагента в градовых облаках различной интенсивности // Всесоюзная конференция по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Киев, 1987. С. 177–181.
7. Ватиашвили М.Р., Капанадзе Н.И. Одикадзе М.Я. Перераспределение осадков в районах Восточной Грузии при воздействии на градовые процессы // Труды Всесоюзного семинара «Активные воздействия на градовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий», 1991. С. 243–251.
8. Ватиашвили М.Р., Джангуразов Х.Х., Кассиров В.П. Патент РФ № 2006 1221792, А 01 G.
9. Ватиашвили М.Р. Совершенствование методики норм расхода ракет в текущем году и его переходящего запаса в сезоне следующего года при проведении работ по воздействию на градовые процессы // Циклы природы и общества. Материалы XVI Международной научной конференции. Ставрополь, 2008. С. 271–281.
10. Ватиашвили М.Р. Прерывание града предварительным засеваем облаков и облачных систем со стороны вторжения ОВ 3–4-й категории // Циклы природы и общества. Материалы XVI Международной научной конференции. Ставрополь, 2008. С. 281–290.
11. Ватиашвили М.Р. Совершенствование методики расчета оптимальных норм расхода противорадовых ракет и интенсивности стрельбы при воздействии на градовые облака // Циклы природы и общества. Материалы XVI Международной научной конференции. Ставрополь, 2008. С. 290–300.
12. Ватиашвили М.Р. Уточненный критерий засева ОВ 2-й категории // Циклы природы и общества. Материалы XVI Международной научной конференции. Ставрополь, 2008. С. 300–307.
13. Ватиашвили М.Р. Влияние на организм человека йодистого серебра, применяемого в противорадовой защите // Циклы природы и общества. Материалы XVII Международной научной конференции. Ставрополь, 2009. С. 192–201.
14. Ватиашвили М.Р. Метод прерывания град на подступах защищаемой территории со стороны вторжения градовых облаков // Наука. Инновации. Технологии. 2016. №4. С. 7–24.
15. Ватиашвили М.Р. Метод прерывания града на защищаемых территориях региона Центрального Кавказа // Наука. Инновации. Технологии. 2018. №1. С. 7–22.
16. Влияние противорадовых работ на загрязнение атмосферы и осадков продуктами активных воздействий на градовые процессы / Т.И. Воробьева и др. Труды ВГИ, 1990. Вып. 74. С. 145–151.

17. Заиков Г.Е. Кислотные дожди и окружающая среда. М.: Химия, 1991. 198 с.
18. Рунион Р. Справочник по непараметрической статистике: Современный подход / перевод с английского Е.З. Демиденко. М.: Финансы и кредит, 1982. 198 с.
19. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. Л.: Гидрометеоздат, 1967. 421 с.

References

1. Abshayev M.T. Aktivnoye vozdeystviye na gradovyye protsessy (Active influence on hail processes) // Rukovodyashchiy dokument RD.52.37.596-98.M (Steering document РД. 52.37.596-98). М., 1998. 32 p.
2. Abshaev M.T., Malkarova A.M. Ekologicheskaya bezopasnost' Rossyiskoy tekhnologii PGZ [The ecological safety of the Russian technology of anti-hail protection] // Doklady Vserossyiskoy konferentsii po fizike oblakov i aktivnym vozdeistviyam na gidrometeorologicheskie protsessy. Nalchik, 2005. P. 409–414.
3. Abshaev M.T., Abshaev A.M., Malkarova A.M., Berekova M.V. Rukovodstvo po organizatsii i provedeniyu protivogradovykh работ [The Manual on organizing and executing of anti-hail works]. Nalchik: OOO «Pechatnyi dvor», 2014. 500 p.
4. Bezopasnye urovny zagryazneniya vrednymi veshchestvami v okruzhayushchei srede [Safe levels of the environmental pollution]. Sverdlovsk: Nauchno-issledovatel'skiy institut obshchei kommunal'noi gigieny im. A.T. Sysina AMN SSSR, 1990.
5. Beriozkin V.V., Vatiashvili M.R., Makitov V.S., Fedchenko L.M. Otsenka vremeni dostizheniya efekta vozdeystviya na gradovye protsessy [Time estimation of the exposure effect on hailing]. Trudy VGI. Vol. 80. 1991. P. 149–156.
6. Vatiashvili M.R., Beriozkin V.V., Bakhsoiani M.G. Issledovanie norm raskhoda reagenta v gradovykh oblakakh razlichnoi intensivnosti. [The research on reagent application rate in hail clouds of different intensity] // Vsesoyuznaya konferentsiya po aktivnym vozdeistviyam na gidrometeorologicheskie protsessy. Kiev, 1987. P. 177–181.
7. Vatiashvili M.R., Kapanadze N.I., Odikadze M.Ya. Pereraspredelenie osadkov v raionakh Vostochnoy Gruzii [Reallocation of the atmospheric precipitations in the Eastern Georgia area when influencing on hailing] // Trudy Vsesoyuznogo seminar'a «Aktivnye vozdeystviya na gradovye protsessy i perspektivy usovershenstvovaniya l'dobrazuyushchikh reagentov dlya praktiki vozdeistvii». М.: Гидрометеоздат, 1991. P. 243–251.
8. Vatiashvili M.R., Dzhangurazov Kh.Kh., Kassirov B.P. Patent RF № 2006 1221792, A 01 G.
9. Vatiashvili M.R. Sovershenstvovanie metodiki norm raskhoda rakety v tekushchem godu i ego perekhodyashchego zapasa v sezone sleduyushchego goda pri provedenii работ po vozdeistviyu na gradovye protsessy [The improvement of methods of rocket application

- rate in the current year and its carry-over storage in the next year season when executing works on influencing on hailing] // *Tsikly prirody i obshchestva. Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Stavropol, 2008, P. 271–281.
10. Vatiashvili M.R. Preryvanie grada predvaritelnyim zasevom oblakov i oblachnykh system so storony vtorzhenia OV 3–4-i kategorii [Hail breaking by a preliminary seeding of clouds and cloud systems from the direction of intruding of OV of the 3-4th categories] // *Tsikly prirody i obshchestva. Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Stavropol, 2008. P. 281–290.
 11. Vatiashvili M.R. Sovershenstvovanie metodiki raschiota optimalnykh norm raskhoda protivogradovykh raket i intensivnosti strel'by pri vozdeistvii na gradovye oblaka [The improvement of design procedure of the optimum application rates of anti-hail rockets and shooting intensity when influencing on hail clouds] // *Tsikly prirody i obshchestva. Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Stavropol, 2008. P. 290–300.
 12. Vatiashvili M.R. Utochnennyi kriterii zaseva OV 2-i kategorii [The verified seeding criterion for the 2-nd category objects of influence] // *Tsikly prirody i obshchestva. Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Stavropol, 2008. P. 300–307.
 13. Vatiashvili M.R. Vliyanie na organism cheloveka iodistogo serebra, primenyaemogo v protivogradovoi zashchite [The effect of argen-tum iodide used in anti-hail protection on a human body] // *Tsikly prirody i obshchestva. Materialy XVII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Stavropol, 2009. P. 192–201.
 14. Vatiashvili M.R. Metod preryvaniya grada na podstupakh zashchishchaemoi territorii so storony vtorzheniya gradovykh oblakov [The method of hail breaking next to the protected area from the direction of hail clouds intrusion] // *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2016. №4. P. 7–24.
 15. Vatiashvili M.R. Metod preryvaniya grada na zashchishchaemykh territoriyakh regiona Tsentralnogo Kavkaza [The method of hail breaking on the protected areas of the Central Caucasus region] // *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2018. №1. P. 7–22.
 16. Vliyanie protivogradovykh rabot na zagryaznenie atmosfery i osadkov produktami aktivnykh vozdeistvii na gradovye protsessy [Anti-hail works effect on atmosphere and precipitations pollution with the products influencing actively on hailing] / T.I. Vorobieva i dr. *Trudy VGI*, 1990. Vol. 74, P. 145-151.
 17. Zaikov G.E. Kislotnye dozhdi i okruzhayushchaya sreda [Acid rains and environment]. M.: Khimiya, 1991. 198 p.
 18. Runion R. Spravochnik po neparametricheskoi statistike: Sovremennyi podkhod [Reference book on non-parametrical statistics: Modern approach] / the translation from English by Demidenko E.Z. M.: Finansy i credit, 1982. 198 p.
 19. Sulakvelidze G.K. Livnevye osadki i grad [Cloudbursts and hailing]. L.: Gidrometeoizdat, 1967, 421 p.

УДК 538.958

**Дерябин М.И. [Deryabin M.I.],
Ерина М.В. [Erina M.V.],
Жданова Н.В. [Zhdanova N.V.]****ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ
ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ
И КОНЦЕНТРАЦИИ НА ЗАСЕЛЕННОСТЬ
ТРИПЛЕТНОГО УРОВНЯ МОЛЕКУЛ
В СТЕКЛООБРАЗНЫХ МАТРИЦАХ
ПРИ 77 К****The specific features of the effect of excitation intensity and concentration on the population of the triplet level of molecules in glassy matrices at 77 K**

Изучено влияние концентрации и параметров образца на интенсивность фосфоресценции стеклообразных растворов органических соединений с высокой концентрацией. Результаты, полученные при равномерном распределении интенсивности возбуждающего света в образце, были сравнены с результатами, учитывающими уменьшение интенсивности в результате поглощения света при его распространении вдоль образца. Показано, что зависимость интенсивности фосфоресценции от концентрации становится нелинейной и стремится к насыщению как следствие уменьшения возбуждающего света при его поглощении. Этот эффект был продемонстрирован на стеклообразном растворе бензофенона в толуоле в диапазоне концентраций от 0,05 до 0,5 моль/л и толщине образца 4 мм.

The effect of the concentration and parameters of the sample on the intensity of phosphorescence of glassy solutions of organic compounds with high concentration has been studied. The results obtained under uniform distribution of the intensity of the exciting light in the sample have been compared with them taking into account decrease of the intensity by absorption of light during its propagation along the sample. It is shown that dependence of the intensity of phosphorescence on concentration becomes nonlinear and tends to saturation as consequence of attenuation of the exciting light under it absorption. This effect was demonstrated in a glassy solution of benzophenone in toluene in the range of concentrations from 0.05 to 0.5 mol/l and thickness of the sample 4 mm.

Ключевые слова: концентрационная зависимость, триплетное состояние, органические молекулы, стеклообразные матрицы, фосфоресценция, моделирование.

Key words: concentration dependence, triplet state, organic molecules, glassy matrices, phosphorescence, simulation.

Введение

Многие фотофизические процессы в химии [1–4] и биологии [5, 6] протекают с участием триплетных состояний органических молекул. Важную роль в них играют триплет-триплетный перенос энергии (ТТЭ) между парой молекул или молекулярными фрагментами [7] и триплет-трип-

летная аннигиляция (ТТА) [8]. В основе этих процессов лежит обмен энергией и спином, для осуществления которых необходимо перекрывание электронных облаков взаимодействующих молекул [7]. В связи с этим при исследовании ТТЭ и ТТА используются высокие концентрации растворов органических соединений. О влиянии различных факторов на эффективность ТТЭ и ТТА в паре судят по изменению параметров фосфоресценции донора (или акцептора) энергии и аннигиляционной замедленной флуоресценции соответственно. Поэтому в качестве матриц в экспериментах часто используются стеклющиеся при замораживании растворители при 77 К. Все это обуславливает необходимость учета закономерностей влияния всех механизмов на концентрационную зависимость интенсивности фосфоресценции примесных молекул в таких матрицах. Когда увеличение концентрации раствора приводит к уменьшению квантового выхода люминесценции, говорят о ее концентрационном тушении [9]. Следствием данного вида тушения является отклонение концентрационной зависимости свечения от прямопропорциональной. Существуют различные механизмы влияния концентрации на квантовый выход люминесценции [7, 9], которые к настоящему времени хорошо изучены. Отклонение от линейной концентрационной зависимости интенсивности люминесценции может быть и без изменения ее квантового выхода и связано с насыщением поглощения. Закономерности этой концентрационной зависимости для фосфоресценции в твердых матрицах при низких температурах остаются до конца неизученными. В настоящей работе представлены результаты исследования влияния мощности возбуждения, констант скоростей внутримолекулярных переходов и размера образца на концентрационную зависимость интенсивности фосфоресценции данного вида органических молекул в стеклообразных матрицах при 77 К.

Модель

Для квантовой интенсивности фосфоресценции справедливо равенство:

$$I_{\phi} = k_T^r N_T, \quad (1)$$

где k_T^r – излучательная константа скорости перехода молекул из возбужденного триплетного состояния в основное синглетное состояние;

N_T – число молекул в триплетном состоянии.

При равномерном распределении плотности возбуждающего света в образце, число молекул в триплетном состоянии при достижении стационарного режима равно [10]:

$$N_T^{st} = \frac{k_0 k_{ic} N}{k_0 (k_T + k_{ic}) + k_T (k_S + k_{ic})}. \quad (2)$$

Здесь k_0 – константа скорости перехода молекул из основного состояния в возбужденное синглетное состояние,
 k_{ic} – константа интеркомбинационной конверсии молекул из первого возбужденного синглетного состояния в триплетное;
 k_T – сумма излучательной и безызлучательной констант скоростей дезактивации триплетных возбуждений;
 k_S – сумма констант скоростей излучательного и безызлучательного переходов молекул из возбужденного синглетного состояния в основное.

Для органических молекул $k_T \ll k_{ic}$ [11] и (2) можно переписать в виде:

$$N_T^{st} = \frac{k_0 N}{k_0 + k_T (k_S + k_{ic}) / k_{ic}}. \quad (3)$$

Величина $k_0 = I_{ex} R$, где I_{ex} – интенсивность возбуждающего света, $R = const$. Отношение

$$q = \frac{k_0}{k_0 + k_T (k_S + k_{ic}) / k_{ic}} \quad (4)$$

показывает долю молекул в триплетном состоянии от общего числа, участвующих в процессе. Выражение (4) можно представить в виде:

$$q = (1 + 1/\gamma k_0)^{-1}, \quad (5)$$

где

$$\gamma = \frac{k_{ic}}{k_T (k_S + k_{ic})}. \quad (6)$$

Из (5) следует, что при одинаковой начальной заселенности триплетного уровня молекул с различающимися значениями констант внутримолекулярных переходов у них, изменение интенсивности возбуждения в одинаковое число раз приводит к изменению заселенностей их триплетных уровней, а значит и интенсивности фосфоресценции, также в одинаковое число раз. Это позволило нам построить универсальную кривую зависимости q от γk_0 (рис. 1), которую можно использовать для оценки изменения заселенности триплетного уровня, следовательно и интенсивности фосфоресценции, при изменении интенсивности возбуждающего света, когда обеднением основного состояния нельзя пренебречь (в нелинейной области).

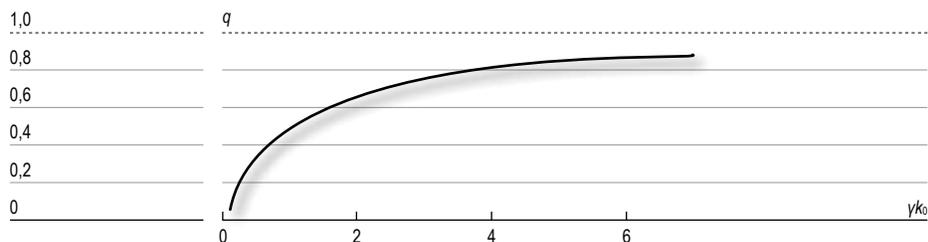


Рис. 1. Кривая зависимости относительной заселенности триплетного уровня молекул от интенсивности возбуждающего света.

Зависимость q от γk_0 , представленная на рисунке 1 справедлива для распределения интенсивности возбуждающего света в образце близкого к равномерному. При таком распределении интенсивности возбуждающего света накопление молекул в триплетном состоянии, а значит и разгорание фосфоресценции происходит по экспоненциальному закону с характерным временем τ_a . Относительную заселенность триплетного уровня q в этих условиях можно определить из кинетики фосфоресценции [10, 12]:

$$q = (\tau_T - \tau_a) / \tau_T, \quad (7)$$

где τ_T — время дезактивации триплетных возбуждений равно времени затухания фосфоресценции, а время их накопления τ_a равно времени разгорания фосфоресценции.

В дальнейшем будем считать слабым возбуждением условие, когда

$$k_0 \ll k_T(k_S + k_{ic})/k_{ic}. \quad (8)$$

При выполнении условия (8) выражение (3) принимает вид:

$$N_T^{st} = \frac{k_0 N}{k_T(k_S + k_{ic})/k_{ic}}. \quad (9)$$

Из (11) и (9) следует, что выполнением условия слабого возбуждения являются прямопропорциональная зависимость концентрации триплетных молекул, следовательно и интенсивности фосфоресценции от мощности возбуждения, а также то, что $\tau_T - \tau_a \ll \tau_T$.

Рассмотрим влияние уменьшения интенсивности возбуждающего света за счет поглощения в процессе его распространения в образце при слабом возбуждении. В качестве объекта исследования возьмем цилиндрический стеклообразный образец (рис. 2) с площадью основания S и толщиной d .

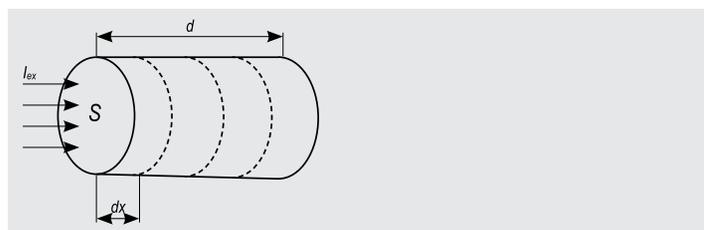


Рис. 2. Цилиндрический стеклообразный образец с равномерным распределением примесных центров (активатора).

Параллельный пучок возбуждающего света с равномерным распределением плотности излучения по сечению падает нормально на поверхность S . Число молекул в элементарном объеме $dV = Sdx$ равно $dN = 10^{-3} N_A CSdx$. Здесь N_A – число Авогадро, C – концентрация в моль/л, S – площадь в см^2 и dx – в см.

С учетом (9), при малой интенсивности возбуждающего света для элементарного объема dV можно записать:

$$dN_T^{st} = \frac{k_0(0)k_{ic}10^{-3}N_A CS}{k_T(k_S + k_{ic})} \exp(-\varepsilon Cx) dx \quad (10)$$

Здесь $k_0(0)$ – значение k_0 на основании S цилиндра,
 ε – молярный коэффициент экстинкции, имеющий размерность $\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Для N_T^{st} имеем:

$$N_T^{st} = \frac{k_0(0)k_{ic}10^{-3}N_A CS}{k_T(k_S + k_{ic})} \int_0^d \exp(-\varepsilon Cx) dx \quad (11)$$

После интегрирования (11), окончательно получаем:

$$N_T^{st} = \frac{k_0(0)k_{ic}10^{-3}N_A S}{k_T(k_S + k_{ic})\varepsilon} (1 - e^{-\varepsilon Cd}) \quad (12)$$

Как видно, в общем случае, следствием ослабления возбуждающего излучения в результате его поглощения при прохождении образца является нелинейная зависимость стационарной концентрации триплетных молекул, а значит и интенсивности флуоресценции, от концентрации раствора.

Рассмотрим два предельных случая малой и большой концентраций. При малых концентрациях $\varepsilon Cd \ll 1$, разлагая величину $\exp(-\varepsilon Cd)$ в ряд Тейлора и ограничиваясь первыми двумя членами получаем:

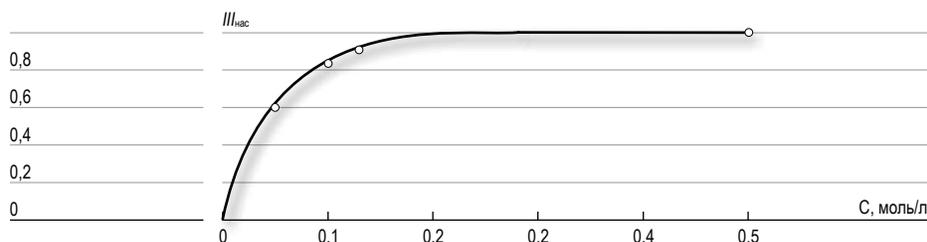


Рис. 3. Зависимость интенсивности фосфоресценции бензофенона в стеклообразном толуоле при 77 К от концентрации раствора при толщине кюветы 0,4 см: — – теоретическая кривая, ○ – экспериментальные данные.

$$N_T^{st} = \frac{k_0(0)k_{ic} 10^{-3} N_A C S d}{k_T(k_S + k_{ic})}. \quad (13)$$

Таким образом, при малой концентрации примесных центров число молекул в триплетном состоянии, а значит и интенсивность фосфоресценции, прямопропорциональны концентрации раствора и интенсивности возбуждающего света. Поскольку $10^{-3} N_A C S d = N$, то выражение (13) эквивалентно равенству (5). Значения концентраций C при которых ее можно считать малой, что следует из произведения $\varepsilon C d$, зависит как от толщины поглощающего слоя d , так и от коэффициента экстинкции ε . Это справедливо и для больших концентраций, когда $\varepsilon C d \gg 1$. В последнем случае величина $\exp(-\varepsilon C d) \ll 1$ и ею можно пренебречь в (12). Тогда:

$$N_T^{st} = \frac{k_0(0)k_{ic} 10^{-3} N_A C S d}{k_T(k_S + k_{ic})}. \quad (14)$$

Выражение (15) определяет предельное значение к которому стремится N_T^{st} с ростом концентрации раствора при фиксированных значениях ε и d .

Результаты исследования и их обсуждение

Для проверки на адекватность выражений (12) и (14) в качестве объекта исследования был выбран стеклообразный раствор бензофенона в толуоле при 77 К. Этот выбор обусловлен тем, что бензофенон обладает высокой растворимостью в толуоле и его большие концентрации (до 1 моль/л) используются в исследованиях переноса энергии триплетных возбуждений [7]. При возбуждении твердых растворов бензофенона при 77 К широко используемыми источниками света, такими как ртутные и ксеноновые лампы, наблюдается линейная зависимость его фосфоресценции от мощности возбуждения. Это подтверждает выполнение условия (8), а значит и

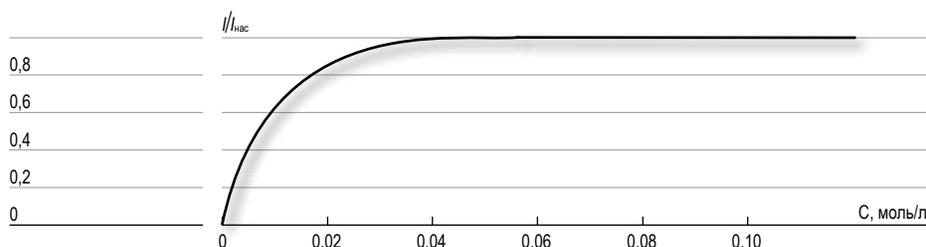


Рис. 4. Зависимость интенсивности фосфоресценции бензофенона в стеклообразном толуоле при 77 К от концентрации раствора при толщине кюветы 0,1 см.

правомерность использования (12) при компьютерном моделировании зависимостей N_T^{st} и I_F от C , ε и d .

У бензофенона, как и многих других карбонильных соединений, имеются $n\pi^*$ и $\pi\pi^*$ переходы. Молярный коэффициент экстинкции на длине волны 365 нм для $n\pi^*$ $\varepsilon_1 = 50$, а для $\pi\pi^*$ на длине волны 270 нм $\varepsilon_2 = 10^4$ [11].

При использовании бензофенона в качестве донора в исследованиях ТТЭ для его возбуждения используется излучение с $\lambda = 365$ нм.

На рисунке 3 представлена теоретическая кривая концентрационной зависимости интенсивности фосфоресценции бензофенона в толуоле при 77 К для поглощающего слоя с $d = 0,4$ см, рассчитанная с использованием формулы (12). Здесь же приведены экспериментальные значения, полученные для нескольких концентраций в нелинейной области значений. Как видно, экспериментальные значения хорошо укладываются на теоретическую кривую.

На рисунке 4 представлена теоретическая кривая концентрационной зависимости интенсивности фосфоресценции бензофенона при его возбуждении светом, соответствующим длине волны излучения ртутной лампы $\lambda_B = 290$ нм для которой $\varepsilon = 10^3$. Здесь взята толщина кюветы 0,1 см. Как видно из рис. 4 при таком значении ε , даже при столь малой толщине поглощающего слоя насыщение поглощения начинает проявляться уже в области концентраций от $5 \cdot 10^{-3}$ моль/л и выше.

Возбуждение светом большой интенсивности.

Возбуждающее излучение поглощается молекулами в основном синглетном состоянии, для числа которых справедливо равенство:

$$N_T^{st} = \frac{k_0(0)k_{ic}10^{-3}N_A S}{k_T(k_S + k_{ic})\varepsilon}. \quad (15)$$

При слабом возбуждении (выполнении условия (8)) число поглощающих центров N_s практически не зависит от мощности возбуждения $N_s \approx N$ и они равномерно распределены в образце.

С учетом (15) для возбуждения светом большой интенсивности можем записать:

$$dN_T^{st} = \frac{k_0(x)k_{ic}10^{-3}N_A C_S(x)}{k_T(k_S + k_{ic}) + k_0(x)k_{ic}} dx \quad (16)$$

В (16) учитывается изменение концентрации поглощающих центров $C_S(x)$ вдоль оси x , которое, согласно (15) определяется выражением:

$$C_S(x) = \frac{k_T(k_S + k_{ic})C}{k_0(x)k_{ic} + k_T(k_S + k_{ic})}. \quad (17)$$

Подставляя (17) в (16) имеем:

$$dN_T^{st} = \frac{k_0(x)k_{ic}10^{-3}N_A k_T(k_S + k_{ic})C}{[k_T(k_S + k_{ic}) + k_0(x)k_{ic}]^2} dx. \quad (18)$$

Чтобы определить зависимость N_T^{st} от концентрации C примесных центров, интегрируя (18), необходимо в явном виде знать зависимость $k_0(x)$. Однако этого сделать не представляется возможным. Действительно, следуя Бугеру-Ламберту с учетом (1) и (15) для изменения $dk_0(x)$ можно записать:

$$-dk_0(x) = k_0(x)(\gamma k_0(x) + 1)^{-1} B dx, \quad (19)$$

где

$$\gamma = \frac{k_{ic}}{k_T(k_S + k_{ic})}, \quad B = \varepsilon C. \quad (20)$$

Общее решение (18) имеет вид:

$$\gamma[k_0(x) - k_0(0)] + \ln \frac{k_0(x)}{k_0(0)} = -Bx. \quad (21)$$

Выводы

Таким образом, наши исследования показали, что даже без изменения квантового выхода фосфоресценции органических молекул концентрационная зависимость ее интенсивности может отклоняться от прямой и стремиться к насыщению. Интервал значений этих концентраций зависит как от коэффициента экстинкции ε , так и от толщины поглощающего слоя d . Кроме того характер концентрационной зависимости интенсивности фосфоресценции в этой области, как и значений ее концентрации различны для больших и малых значений интенсивностей возбуждающего света. Определены критерии малой и большой интенсивностей возбуждения. Для малых интенсивностей возбуждающего света получена формула, позволяющая выполнять компьютерное моделирование концентрационной зависимости интенсивности фосфоресценции молекул для различных значений ε и d . Это позволяет получить необходимую информацию при выборе оптимальных условий эксперимента в экспериментальных исследованиях фотофизических процессов с участием триплетных состояний органических молекул.

Несмотря на то, что получить аналитическое выражение концентрационной зависимости для заселенности триплетного уровня, следовательно, и для фосфоресценции при больших интенсивностях возбуждающего света получить не удастся. Это можно сделать численными методами. Решение этой задачи будет представлено отдельно в следующей работе.

Библиографический список

1. Ziesel R., Hissler M., El-ghayoury A. and Harriman A. Multifunctional transition metal complexes: Information transfer at the molecular level // *Coordination Chemistry Reviews*. 1998. Vol. 178. P. 1251–1298.
2. Islangulov R. R., Kozlov D. V. and Castellano F. N. Low power upconversion using MLCT sensitizers // *Chemical Communications*. 2005. No. 30. P. 3776–3778.
3. Лукова Г.В., Васильев В.П., Смирнов В.А., Гуцин А.В. Исследование влияния растворителя на процессы комплексообразования металлоорганических комплексов Zr и Hf с цикlopентадиеном методом триплет-триплетного переноса энергии // *Вестник ННГУ. Химия*. 2013. №4(1). С. 118–122.
4. Дударь С.С., Свешникова Е.Б., Шабля А.В., Ермолаев В.Л. Безызлучательный перенос энергии как метод изучения самоорганизующихся наноструктур комплексов лантанидов в растворах // *Химия высоких энергий*. 2007. Т. 41. № 3. С. 189–197.
5. Frank H.A., Young A.J., Britton G. and Cogdell R.J. *The Photochemistry of Carotenoids*. Kluwer, Netherlands, 1999. 379p.
6. Мельников А.Г., Салецкий А.М., Кочубей В.И., Правдин А.Б., Курчатова И.С., Мельников Г.В. Триплет-триплетный перенос энергии между люминесцентными зондами, связанными с альбуминами // *Оптика и спектроскопия*. 2010. Т. 109. № 2. С. 216–221.
7. Ермолаев В.Л., Бодунов Е.Н., Свешникова Е.Б., Шахвердов Т.А. *Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения*. Л.: Наука, 1977. 311 с.
8. Singh-Rachford T.N., Castellano F.N. Photon upconversion based on sensitized triplet–triplet annihilation // *Coordination Chemistry Reviews*. 2010. Vol. 254, Iss. 21–22. P. 2560–257.
9. Левшин Л.В., Салецкий А.М. *Люминесценция и ее измерения. Молекулярная люминесценция*. М.: Изд-во МГУ, 1989. 272 с.
10. Алфимов М.В., Бубен Н.Я., Приступа А.И., Шамшев В.Н. Определение концентрации органических молекул в триплетном состоянии при возбуждении быстрыми электронами // *Оптика и спектроскопия*. 1966. Т. 20. № 3. С. 424–426.
11. Турро Н. *Молекулярная фотохимия*. М.: Мир, 1967. 328 с.
12. Жданова Н.В., Авдеев А.В. Определение концентрации молекул в триплетном состоянии при возбуждении донорно-акцепторных пар периодически-повторяющимися импульсами // *Наука. Инновации. Технологии*. 2016. №2. С. 29–35.

References

1. Ziessel R., Hissler M., El-ghayoury A. and Harriman A. Multifunctional transition metal complexes: Information transfer at the molecular level // *Coordination Chemistry Reviews*. 1998. Vol. 178.
2. Islangulov R. R., Kozlov D. V. and Castellano F. N. Low power up-conversion using MLCT sensitizers // *Chemical Communications*. 2005. No. 30. P. 3776–3778.
3. Lukova G.V., Vasil'ev V.P., Smirnov V.A., Gushhin A.V. Issledovanie vliyaniya rastvoritelya na processy kompleksobrazovaniya metalloorganicheskikh kompleksov Zr i Hf s ciklopentadienom metodom triplet-tripletnogo perenosa energii (Study of solvent influence on complexing processes of cyclopentadiene complexes with Zr and Hf by the triplet-triplet energy transfer method) // *Vestnik NNGU. Himiya*. 2013. No. 4(1). P. 118–122.
4. Dudar' S.S., Sveshnikova E.B., Shablja A.V., Ermolaev V.L. Bezyzluchatel'nyj perenos energii kak metod izucheniya samoorganizuyushchihsy nanostruktur kompleksov lantanidov v rastvorah (Nonradiative energy transfer as a method for investigation of self-assembling nanostructures of lanthanide complexes in solutions) // *High Energy Chemistry*. 2007. Vol. 41. No. 3. P. 189–197.
5. Frank H.A., Young A.J., Britton G. and Cogdell R.J. *The Photochemistry of Carotenoids*. Kluwer, Netherlands, 1999. 379 p.
6. Mel'nikov A.G., Saleckij A.M., Kochubej V.I., Pravdin A.B., Kurchatov I.S., Mel'nikov G.V. Triplet-tripletnyj perenos energii mezhdum lyuminescentnymi zondami, svyazannymi s al'buminami (Triplet-triplet energy transfer between luminescent probes bound to albumins) // *Optics and Spectroscopy*. 2010. Vol. 109. No. 2. P. 216–221.
7. Ermolaev V.L., Bodunov E.N., Sveshnikova E.B., Shahverdiv T.A. Bezyzluchatel'nyj perenos energii elektronnogo vozvuzhdeniya (Nonradiative transfer of electron excitation energy). Leningrad: Nauka, 1977. 311 p.
8. Singh-Rachford T.N., Castellano F.N. Photon upconversion based on sensitized triplet-triplet annihilation // *Coordination Chemistry Reviews*. 2010. Vol. 254, Iss. 21–22. P. 2560–257.
9. Levshin L.V., Saleckij A.M. Lyuminescenciya i ee izmereniya. Molekulyarnaya lyuminescenciya. (Luminescence and its measurement. Molecular luminescence). Moscow: MSU, 1989. 272 p.
10. Alfimov M.V., Buben N.Ja., Pristupa A.I., Shamshev V.N. Opredelenie koncentracii organicheskikh molekul v tripletnom sostoyanii pri vozvuzhdenii bystryimi elektronami (Determination of the concentration of organic molecules in the triplet state upon excitation by fast electrons) // *Optics and Spectroscopy*. 1966. Vol. 20. No. 3.
11. Turro N. *Molekulyarnaya fotohimiya (Molecular photochemistry)*. Moscow: Mir, 1967. 328 p.
12. Zhdanova N.V., Avdeev A.V. Opredelenie koncentracii molekul v tripletnom sostoyanii pri vozvuzhdenii donorno-akceptornykh par periodicheski-povtoryayushchimisya impul'sami (Determination of the acceptor molecules concentration in the triplet state on excitation of donor-acceptor pairs by recurrent pulses) // *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2016. No. 2. P. 29–35.

УДК 621.396.8 **Жиляков Е.Г. [Zhilyakov E.G.],**
Белов С.П. [Belov S.P.],
Романькова Т.С. [Romankova T.S.],
Олейник И.И. [Oleinik I.I.]

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ

Processing of signals in linear systems

Восстановлением сигналов принято называть компенсацию искажений, которые возникают при их регистрации. Основной исследуемой в литературе проблемой является неустойчивость вычисляемых оценок входных воздействий к воздействиям ошибок регистрации откликов. Поэтому разработаны различные приемы регуляризации исходных уравнений на основе преобразования их в другое уравнение, решение которого вычисляется устойчиво. Наиболее известным приемом является метод регуляризации А.Н. Тихонова. Вместе с тем, в данной работе показано, что в отклике может отсутствовать часть информации о входном воздействии, то есть даже при отсутствии погрешностей измерений получаемое решение будет приближенным. Предложен способ оценивания невосстанавливаемых искажений, обусловленных самим оператором регистрирующей системы, что может быть использовано на этапе её синтеза. Получена линейная форма представления доступной для восстановления компоненты воздействия через импульсную характеристику, так что задача восстановления сводится к вычислению её коэффициентов. Предложен способ регуляризации возникающих при этом систем линейных алгебраических уравнений на основе адаптивного оценивания уровней погрешностей регистрации непосредственно по зарегистрированному отклику.

Recovering signals is usually called compensation of distortions that occur when they are registered. The main problem studied in the literature is the instability of the calculated estimates of the input effects to the effects of errors in the registration of responses. Therefore, various methods of regularizing the initial equations are developed on the basis of their transformation into another equation, the solution of which is calculated stably. The most famous technique is the Tikhonov A.N. method of regularization. At the same time, in this paper it is shown that some of the information on the input action may be missing in the response, that is, even if there are no measurement errors, the resulting solution will be approximate. A method for estimating non-recoverable distortions caused by the operator of the recording system is proposed, which can be used at the stage of its synthesis. A linear form of the representation of the impact component accessible for restoration through the impulse response is obtained, so that the restoration problem is reduced to the calculation of its coefficients. A method for regularizing the systems of linear algebraic equations arising on this basis is proposed on the basis of adaptive estimation of the error levels of registration directly from the registered response.

Ключевые слова: Восстановлением сигналов, компенсация искажений, оператор регистрирующей системы, способ регуляризации.

Key words: signal reconstruction, distortion compensation, register system operator, regularization method.

Введение

В рамках данной работы под сигналом понимается функция времени, в параметрах которой содержится некоторая информация о реальных процессах или явлениях. Такими сигналами в частности являются каналные сигналы систем передачи информации, отклики на зондирующие воздействия в радиолокации, входные воздействия в информационно-изме-

рительных системах и т.д. Реальные сигналы поступают на входы некоторых систем и проявляются в виде откликов на их выходах. Во многих случаях адекватной моделью преобразования сигналов в регистрирующих системах служит интегральное соотношение типа свертки [1–3]

$$u(t) = \int_0^{T_f} r(t-\tau)f(\tau)d\tau, \quad (1)$$

где T_f – длительность сигнала (входного воздействия) f ;
 $r(z)$ – ядро интегрального соотношения (аппаратная функция системы), удовлетворяющая условию физической реализуемости

$$r(z) \equiv 0, \quad \forall z < 0 \quad (2)$$

В дальнейшем предполагается, что область определения отклика $u(t)$ $0 \leq t \leq T_u$ не меньше чем длительность входного воздействия, т.е. имеет место неравенство

$$T_f \leq T_u. \quad (3)$$

Кроме того, считаем, что все, входящие в соотношение (1) функции непрерывны, вещественны и имеют ограниченную евклидову норму

$$\begin{aligned} \|f\|^2 &= \int_0^{T_f} f^2(t)dt < \infty; \\ \|u\|^2 &= \int_0^{T_u} u^2(t)dt < \infty; \\ \|r_t\|^2 &= \int_0^{T_f} r^2(t-\tau)d\tau < \infty. \end{aligned} \quad (4)$$

Восстановлением сигналов принято называть оценивание при известном ядре входных воздействий на основе обработки результатов регистрации откликов (эмпирических данных).

Материалы и методы исследования

Функционирование реальных регистрирующих систем связано с дискретизацией области определения отклика и наличием искажений за счет неконтролируемых воздействий посторонних факторов (помехи, шумы аппаратуры) [2,4]. В соответствии с этим модель регистрации сигналов принимает вид

$$w_i = u(i\Delta t) + \varepsilon(i\Delta t) = \int_0^{T_f} \phi_i(\tau)f(\tau)d\tau + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (5)$$

где Δt – интервал дискретизации области определения отклика

$$\Delta t = T_u / (N - 1); \quad (6)$$

$$\phi_i(\tau) = r(i\Delta t - \tau), \quad i = 1, \dots, N. \quad (7)$$

Восстановление сигналов по результатам регистрации откликов является обратной задачей [6, 7]. Одна из проблем её решения возникает в виду того, что в отклике может отсутствовать часть информации об искомом сигнале.

В самом деле, известно [4], что любая функция из L_2 может быть единственным образом представлена в виде суммы двух ортогональных компонент

$$f(\tau) = f_1(\tau) + f_2(\tau), \quad (8)$$

где f_1 – элемент линейала

$$f_1(\tau) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \phi_i(\tau), \quad (9)$$

а вторая компонента ортогональна ко всем функциям вида (7)

$$(f_2, \phi_i) = \int_0^{T_f} f_2(\tau) \phi_i(\tau) d\tau = 0, \quad i = 1, \dots, N. \quad (10)$$

Таким образом, вторая компонента искомого сигнала (8) не проявляется в отклике. Иными словами в общем случае доступна для восстановления только компонента вида (9).

Рассмотрим возможность априорного анализа свойств доступных для восстановления компонент, когда заданы ядро интегрального соотношения (1), шаг дискретизации области определения отклика и модель входного воздействия (искомого сигнала).

Очевидно, что такой анализ связан с моделированием прямой задачи – формирования отклика, для чего в частности необходимо вычислять совокупность интегралов вида (10). В качестве квадратурной формулы используем формулу прямоугольников (крышка сверху означает оценку отклика)

$$\hat{u}_i = \Delta \tau \sum_{k=1}^M \phi_{ik} f_k, \quad (11)$$

где $\Delta \tau$ – интервал дискретизации области интегрирования, определяемый по аналогии с соотношением (6);

$$\hat{u}_i \approx u(i\Delta t); \quad \phi_{ik} = \phi_i(k\Delta \tau); \quad f_k = f(k\Delta \tau), \quad k = 1, \dots, M.$$

В дальнейшем предполагается выполнение следующего неравенства

$$N \leq M \quad (12)$$

Положим $\Phi = \{\Delta \tau \phi_{ik}\}, i = 1, \dots, N : k = 1, \dots, M,$ (13)

так что совокупность соотношений (11) аппроксимируется приближенным матричным равенством

$$\vec{u} = (u_1, \dots, u_N)' \approx \Phi \vec{f}, \quad \vec{f} = (f_1, \dots, f_M)'.$$
 (14)

В свою очередь для аппроксимации компоненты (9) естественно использовать векторное представление

$$\vec{f}_1 = \Phi' \vec{\alpha}.$$
 (15)

При этом вторая из компонент (8) определяется соотношением

$$\vec{f}_2 = \vec{f} - \Phi' \vec{\alpha},$$
 (16)

так что в соответствии с (10) должно выполняться соотношение ортогональности

$$\Phi \vec{f}_2 = \Phi \vec{f} - \Phi \Phi' \vec{\alpha} = \vec{0}.$$
 (17)

Так как соотношение (15) определяет ортогональную проекцию вектора отсчетов искомого сигнала, то компонента (16) должна иметь минимальную евклидову норму. Поэтому вектор коэффициентов $\vec{\alpha}$ должен удовлетворять следующему вариационному условию

$$F(\vec{\alpha}) = \|\vec{f} - \Phi' \vec{\alpha}\|^2 = \min F(\vec{\beta}) = \min \|\vec{f} - \Phi' \vec{\beta}\|^2, \forall \vec{\beta} \in R^N,$$
 (18)

Представляет интерес получить метод вычисления проекции (15) при заданных векторе f и матрице Φ , что позволяет провести априорный анализ доступных для восстановления компонент на основе моделирования.

Известно [5], что матрицы вида (12) могут быть представлены в виде сингулярного разложения

$$\Phi = QL^{1/2}G',$$
 (19)

где штрих означает операцию транспонирования;

$$L = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_N); \quad \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N \geq 0;$$
 (20)

Q – ортогональная матрица собственных векторов симметричной неотрицательно определенной матрицы

$$A = \Phi\Phi', \quad (21)$$

$$AQ = QL; \quad (22)$$

$$Q = \{\bar{q}_1 \dots \bar{q}_N\}, \bar{q}_i = (q_{i1}, \dots, q_{Ni})', i = 1, \dots, N; \quad (23)$$

$$Q'Q = \text{diag}(1, \dots, 1); \quad (24)$$

Если ранг матрицы (13) равен K , причем

$$K < N, \quad (25)$$

то будут иметь место равенства

$$\lambda_{K+1} = \lambda_{K+2} = \dots = \lambda_N = 0. \quad (26)$$

В том случае можно исключить столбцы матрицы Q , соответствующие нулевым собственным числам.

В свою очередь G – в общем случае ортогональная матрица размерности $M * N$, столбцы которой представляют собой собственные векторы симметричной неотрицательно определенной матрицы

$$B = \Phi\Phi', \quad (27)$$

$$BG = GC; \quad C = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_N); \quad (28)$$

$$G'G = \text{diag}(1, \dots, 1). \quad (29)$$

Справедливо следующее.

Утверждение 1. При заданных векторе \vec{f} и матрице Φ для компоненты (15), удовлетворяющей условию (17), справедливо соотношение

$$\vec{f}_1 = GG'\vec{f}. \quad (30)$$

Доказательство. Легко показать, что вектор

$$\vec{f}_2 = \vec{f} - GG'\vec{f} \quad (31)$$

ортогонален ко всем строкам матрицы (13). Для этого (31)

слева и справа умножим на эту матрицу. В результате имеем

$$\Phi \vec{f}_2 = (\Phi - \Phi G G') \vec{f} = 0 \vec{f}. \quad (32)$$

Нулевая матрица в скобках получается в результате подстановки разложения (19) с учетом свойства (29).

Рассмотрим теперь вариационное условие (18) и представим его правую часть в следующем виде

$$F(\vec{\beta}) = \|\vec{f}\|^2 - 2\vec{\beta}'\Phi\vec{f} + \vec{\beta}'\Phi\Phi'\vec{\beta}$$

Дифференцируя по вектору $\vec{\beta}$ и используя представление (19) с учетом свойства ортогональности (29), получаем равенство, которому удовлетворяет оптимальный в смысле (18) вектор коэффициентов

$$QL^{1/2}G'\vec{f} = QL^{1/2}L^{1/2}Q'\vec{\alpha}.$$

Диагональность матрицы $L^{1/2}$ позволяет получить отсюда равенство

$$L^{1/2}Q'\vec{\alpha} = G'\vec{f}.$$

Умножив последнее соотношение слева и справа на матрицу G , с учетом разложения (19) получаем

$$GL^{1/2}Q'\vec{\alpha} = \Phi'\vec{\alpha} = GG'\vec{f}, \quad (33)$$

что и завершает доказательство сформулированного выше утверждения.

В качестве следствия справедливости (30) получаем соотношение для квадрата нормы вектора (31)

$$\|\vec{f}_2\| = \|\vec{f}\|^2 - \|G'\vec{f}\|^2. \quad (34)$$

Отсюда и из (29) следует, что равенство ортогональной компоненты нулю достигается на векторах из линейала

$$\vec{f} \equiv \vec{f}_1 = G\vec{\beta}, \quad (35)$$

где $\vec{\beta}$ – вектор с произвольными вещественными компонентами $\vec{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_N)'$.

В общем случае при разработке метода восстановления сигналов представляется естественным руководствоваться тем, что восстановлению доступна только компонента вида (9), используя при этом её дискретные аппроксимации (15) или (35). Тогда вычисления сводятся к определению коэффициентов этих представлений на основе зарегистрированных значений откликов.

Для иллюстрации важности учета искажения информации о входном воздействии в отклике рассмотрим следующий пример. Пусть i -тая строка матрицы (13) имеет вид $\vec{\phi}_i = (0, \dots, 0, v(1), \dots, v(Mi), 0, \dots, 0)$, где количество нулей в начале равно $i-1$, $Mi = 150$. $v(k) = 0,5 (1 - \cos(2\pi k/Mi))$, $i = 1, \dots, N = 200$, $M = N + 149$. В качестве вектора отсчетов входного воздействия используем прямоугольный «импульс» $\vec{f} = (1, \dots, 1, 2, \dots, 2, 1, \dots, 1)'$, где число нулей в начале равно 50, а число подряд идущих единиц равно 20. Это соответствует моделированию радиолокационных измерений по дальности.

На рис. 1 приведены графики компонент вектора \vec{f} и полученной на основе соотношения (30) его компоненты f_i . Эти графики наглядно демонстрируют то, что сохраняющаяся компонента может существенно отличаться от точного воздействия, причем могут проявляться ложные «всплески» (второй отрицательный импульс), которые при восстановлении будут восприниматься как реальные.

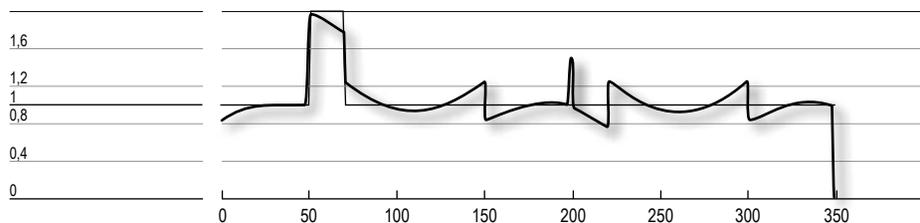


Рис. 1. Графики входного воздействия (сплошная линия) и его компонента (30).

Другая проблема при решении задачи восстановления сигналов возникает в случае, когда некоторые элементы матрицы L в разложении (19) (сингулярные числа матрицы Φ) будут недостаточно велики по сравнению с погрешностями измерений. В самом деле, имея в виду представления (14) и (35), а также разложение вида (19) с учетом свойства (29), модель реальных измерений откликов (5) можно аппроксимировать следующим соотношением

$$\vec{w} = (w_1, \dots, w_N)' = QL^{1/2} \vec{\beta} + \vec{\varepsilon}. \quad (36)$$

Здесь вектор ошибок $\vec{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_N)'$, куда целесообразно включить погрешности аппроксимаций за счет применения квадратур, предполагается неизвестным, так что для вычисления неизвестного вектора коэффициентов $\vec{\beta}$ приходится использовать представление

$$\vec{w} = QL^{1/2}\vec{\beta}. \quad (37)$$

Устойчивое оценивание отсюда $\vec{\beta}$ возможно только тогда, когда элементы диагональной матрицы L не очень малы по сравнению со значениями квадратов компонент вектора $\vec{\varepsilon}$ в (36). В противном случае необходимо использовать специальные приемы построения устойчивых приближений к искомым сигналам. Эти приемы принято называть регуляризацией.

Результаты исследований и их обсуждение

Проблеме регуляризации задачи восстановления посвящена обширная литература.

Основное противоречие возникает между желанием достичь устойчивости и при этом обеспечить воспроизведение достаточно тонких деталей входных воздействий при наличии неизвестных погрешностей в модели регистрации откликов.

Отметим, что известные подходы к построению приближенных решений не учитывают того, что в отклике в общем случае отсутствует информация о второй компоненте разложения (8).

Наиболее общий подход к регуляризации обратных задач развит в работах Тихонова А.Н. и его последователей [3, 5, 6]. В его основе используется прием замены исходного уравнения «близким» к нему, решение которого является устойчивым. Это реализуется с применением вариационного принципа минимизации регуляризирующего функционала

$$G(f, \alpha) = \int_0^{T_0} [w(t) - \int_0^{T_1} r(t-\tau)f(\tau)d\tau]^2 dt + \alpha\Omega(f) = \min \forall f \in X, \quad (38)$$

где предполагается, что эмпирические данные представляют собой функцию времени;

$\alpha \geq 0$ – параметр регуляризации;

X – некоторое функциональное пространство, например пространство Соболева или L_2 ;

$\Omega(f) \geq 0$ – стабилизирующий функционал (стабилизатор), определенный на заданном функциональном пространстве.

Специфика уравнения свертки заключается в возможности использования алгебраического соотношения

$$U(\omega) = R(\omega)F(\omega), \quad (39)$$

между трансформантами Фурье (спектрами, заглавные буквы) входящих в соотношение (1) функций, определение которых имеет следующий вид

$$Z(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} z(y) \exp(-j\omega y) dy, \quad (40)$$

где $\omega = 2\pi\nu$ – круговая частота;
 ν – частота; $j = (-1)^{1/2}$.

Условия существования таких интегралов рассматриваются во многих руководствах, например в [7]. Предполагается также существование обратных преобразований

$$z(y) = \int_{-\infty}^{\infty} Z(\omega) \exp(j\omega y) d\omega / 2\pi. \quad (41)$$

В связи с этим принцип регуляризации (38) можно реализовать на основе модели

$$f_{\alpha}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} W(\omega) R^*(\omega) \exp(j\omega\tau) d\omega / (|R(\omega)|^2 + \alpha\omega^2) / 2\pi, \quad (42)$$

где звездочка означает комплексное сопряжение трансформанты Фурье ядра, а в качестве стабилизатора используется евклидова норма первой производной искомого сигнала.

Таким образом, реализация (42) предполагает определение трансформанты Фурье отклика и вычисление обратного преобразования при некотором значении параметра регуляризации. Представляет интерес анализ этой процедуры.

Во-первых, отметим, что по дискретным данным может быть вычислена только оценка спектра отклика

$$W_d(\omega) = \Delta t \sum_{k=1}^N w_k \exp(-j\omega\Delta t(k-1)), \quad (43)$$

которая является периодической

$$W_d(\omega + 2\pi m P_w) = W_d(\omega), \quad (44)$$

с периодом $P_w = 2\pi / \Delta t$. (45)

Поэтому интеграл в (42) должен рассматриваться в частотной области не шире

$$-\pi / \Delta t \leq \omega \leq \pi / \Delta t. \quad (46)$$

При этом справедливо соотношение [9]

$$W_d(\omega) = W(\omega) + \sum_{k=1}^{\infty} (W(\omega + 2\pi k P_w) + W(\omega - 2\pi k P_w)), \quad (47)$$

из которого следует, что спектр отклика может быть существенно искажен по сравнению со спектром непрерывной реализации, особенно сильно будут искажаться частотные составляющие вблизи границ интервала (46).

Реально спектр (43) также вычисляется в дискретном наборе точек

$$\omega_i = \pi i / (\Delta t(I-1)), \quad -I \leq i \leq I, \quad (48)$$

в которых также должен вычисляться и спектр ядра $R(\omega_i)$. Поэтому (42) аппроксимируется интегральной суммой

$$f_{\alpha}(k) = \Delta \tau \Delta \omega \sum_{i=-I}^I W(\omega_i) R^*(\omega_i) \exp(ji \Delta \omega (k-1)) / (|R(\omega_i)|^2 + \alpha \omega_i^2), \quad \Delta \omega = \pi / (I-1). \quad (49)$$

Шаг дискретизации спектров часто выбирается в соответствии с принципом дискретного преобразования Фурье (ДПФ) (это позволяет использовать алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ)) [9]

$$\Delta \omega = 2\pi / (\Delta t N). \quad (50)$$

Таким образом, и спектр оценки искомого сигнала будет ограничен интервалом (46), что может приводить к погрешностям. Кроме того в виду необходимости вычисления спектра ядра должно выполняться равенство

$$\Delta t = \Delta \tau. \quad (51)$$

Но если необходимо сохранить тонкие детали профиля входного сигнала, например, обеспечить разрешение близко расположенных экстремумов, то следует соответствующим образом выбрать шаг дискретизации области определения отклика. В частности из равенства Парсеваля [8] следуют требования

$$\int_{-\infty}^{\infty} r^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |R(\omega)|^2 d\omega / 2\pi \approx \int_{-\pi/\Delta t}^{\pi/\Delta t} |R(\omega)|^2 d\omega / 2\pi, \quad (52)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega / 2\pi \approx \int_{-\pi/\Delta t}^{\pi/\Delta t} |F(\omega)|^2 d\omega / 2\pi. \quad (53)$$

Ясно, что выполнимость последнего условия подтвердить невозможно. Таким образом, представляется целесообразным применять такой метод регуляризации, когда интервалы дискретизации не связаны жестким условием вида (51), что может быть невыполнимо при использовании эмпирических данных.

Выбор значения параметра регуляризации является одной из основных проблем, которая характеризуется противоречием между желанием обеспечить устойчивость оценки входного сигнала к влиянию неточности априорных знаний о свойствах погрешностей наряду с необходимостью выявить тонкие детали. Решение этой проблемы базируется на предположениях об уровне погрешностей например в смысле её дисперсии.

Представляется целесообразной разработка такого метода восстановления входного сигнала по эмпирическим данным, который учитывает только первую из компонент в аддитивной смеси (8) и позволяет оценивать уровень погрешностей регистрации отклика непосредственно по имеющимся данным.

Так как вторая из компонент суммы (8) теряется, то в качестве исходного вектора значений восстанавливаемого сигнала естественно использовать представление

$$\vec{f}_1 = G\vec{\beta}, \quad (54)$$

С учетом свойства (29) нетрудно получить соотношение

$$\|\vec{f}_1\|^2 = \|\vec{\beta}\|^2. \quad (55)$$

тогда как для нормы сигнальной части отклика (14) в виду (19) и (24) имеет место

$$\|\vec{u}\|^2 = \sum_{k=1}^N \lambda_k \beta_k^2. \quad (56)$$

Положим

$$\vec{y} = Q'\vec{w} = Q'\vec{u} + Q'\vec{\varepsilon}. \quad (57)$$

С учетом (36) имеем

$$\vec{y} = Q'\vec{u} = (y_1, \dots, y_N)' = L^{1/2}\vec{\beta}, \quad (58)$$

$$y_k = \lambda_k^{1/2} \beta_k, \quad k = 1, \dots, N. \quad (59)$$

Таким образом, выполнение равенств вида (36) влечет равенства

$$y_k = 0, k = K + 1, \dots, N. \quad (60)$$

Поэтому сформированный на основе (55), (57) и (58) регуляризирующий функционал Тихонова А.Н. должен учитывать только ненулевые сингулярные числа

$$G(\vec{\beta}, \alpha) = \sum_{k=1}^K (\lambda_k^{1/2} \beta_k - \gamma_k)^2 + \alpha \sum_{k=1}^K \beta_k^2. \quad (61)$$

Минимизация этого функционала при фиксированном параметре регуляризации достигается на векторе с компонентами вида

$$\beta_k = \lambda_k^{1/2} \gamma_k / (\alpha + \lambda_k), k = 1, \dots, K. \quad (62)$$

В соответствии с (60) остальным компонентам вектора коэффициентов в (54) следует придать нулевые значения.

При подстановке этого представления в первую сумму правой части (61) нетрудно получить соотношение для квадрата нормы вектора отклонений от эмпирических данных

$$H(\alpha) = \alpha^2 \sum_{k=1}^K \gamma_k^2 / (\alpha + \lambda_k)^2. \quad (63)$$

Если теперь задать его значение, то тем самым определится уравнение для параметра регуляризации

$$\alpha^2 \sum_{k=1}^K \gamma_k^2 / (\alpha + \lambda_k)^2 = s^2. \quad (64)$$

Нетрудно получить соотношение

$$dH(\alpha) / d\alpha = \alpha \sum_{k=1}^K \lambda_k \gamma_k^2 / (\alpha + \lambda_k)^2,$$

которое показывает, что правая часть (63) монотонно не убывает, а следовательно корень уравнения (64) будет единственным, причем следует иметь в виду необходимость выполнения неравенства

$$s^2 < \sum_{k=1}^K \gamma_k^2 / \lambda_k^2, \quad (65)$$

чтобы корень был неотрицательным и ограниченным.

Использование равенства

$$s_2 = 0 \quad (65)$$

дает нулевое значение параметра регуляризации, поэтому

его следует применять в тех случаях, когда норма вектора погрешностей в (36) мала по сравнению с нормой информационного вектора (37), в частности, когда собственные числа матрицы (21) достаточно велики. В противном случае представляется естественным использовать оценку математического ожидания по близким к нулю собственным числам (см. [60])

$$s^2 = K \sum_{k=K+1}^N \gamma_k^2 / (N - K). \quad (66)$$

Отметим также, что для поиска корня уравнения (64) следует использовать метод последовательных приближений на основе представления

$$\alpha = s \left(\sum_{k=1}^K \gamma_k^2 / (\alpha + \lambda_k)^2 \right)^{-1/2}, \quad (67)$$

который сходится при выполнении неравенства (65).

Выводы

Рассмотрена задача устойчивого восстановления сигналов в линейных системах с постоянными параметрами. Показано, что в отклике системы может отсутствовать часть информации о входном воздействии, и разработан метод априорного анализа доступной для восстановления компоненты. Предложен проекционный метод устойчивого восстановления сигналов на основе сингулярного разложения матриц. Получены основные соотношения, позволяющие регуляризовать задачу восстановления и вычислить параметр регуляризации непосредственно по данным измерений.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №17-07-00268

Библиографический список

1. Василенко Г.И. Теория восстановления сигналов. О редукации к идеальному прибору в физике и технике. М.: Сов. Радио, 1979
2. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы. Киев: наукова думка, 1986
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986
4. Ректорис К. Вариационные методы в физике и технике. М.: Мир, 1985

5. Уоткинс Д. Основы матричных вычислений. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2009.
6. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Численные методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1990
7. Леонов А.С. Решение некорректно поставленных обратных задач. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009
8. Хургин Я.И., Яковлев В.П. Фinitные функции в физике и технике. М.: Наука
9. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. М.: БИНОМ, 2006
10. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка Изображений. М.: Техносфера, 2006

References

1. Vasilenko G.I. Teoriya vosstanovleniya signalov. O redukcii k ideal'nomu priboru v fizike i tekhnike. (Theory of signal recovery. On reduction to an ideal device in physics and engineering) М.: Sov. Radio, 1979
2. Verlan A. F., Sizikov V. S. Integral'nye uravneniya: metody, algoritmy, programmy (Integral equations: methods, algorithms, programs). Kiev: naukova dumka, 1986
3. Tikhonov A.N., Arsenin V.Y. Metody resheniya nekorrektnykh zadach (Methods for solving ill-posed problems). М.: Nauka, 1986
4. Rektorys K. Variatsionnye metody v fizike i tekhnike (Variational methods in physics and engineering). М.: Mir, 1985
5. Watkins D. Osnovy matrichnykh vychislenij (Fundamentals of matrix computations). М.: Binom. Laboratoriya znaniy. 2009.
6. Tikhonov A.N., Goncharsky A.V., Stepanov V.V., Yagola A.G. Chislennye metody resheniya nekorrektnykh zadach (Numerical methods for solving ill-posed problems). М.: Nauka, 1990
7. A. S. Leonov, Reshenie nekorrektno postavlenykh obratnykh zadach (Solution of ill-posed inverse problems). М.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2009
8. Khurgin Ya.I., Yakovlev V.P. Finitnye funktsii v fizike i tekhnike (Finite functions in physics and engineering). М.: Nauka
9. Lyons R. Tsifrovaya obrabotka signalov (Digital signal processing). М.: BINOM, 2006
10. Gonzalez R., Woods R. Tsifrovaya obrabotka Izobrazhenij (Digital Image processing). М.: Tekhnosfera, 2006

ОСОБЕННОСТИ РЕЛАКСАЦИИ НАМАГНИЧЕННОСТИ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ СОДЕРЖАЩИХ НАМАГНИЧЕННЫЕ АГРЕГАТЫ

Magnetic properties of ferrofluid with magnetized aggregates. magnetization relaxation peculiarities

В работе представлены результаты экспериментального исследования магнитных свойств магнитной жидкости, содержащей хорошо развитую систему агрегатов, обладающих собственным магнитным моментом. Анализ магнитного состояния исследуемой среды проведен путем изучения процессов намагничивания магнитной жидкости в постоянном и переменном магнитных полях. Было определено, что при разбавлении исходного образца дисперсионной средой происходит упорядочение магнитных моментов дисперсных частиц в ограниченном объеме. Результатом этого процесса является формирование крупных эластичных агрегатов, обладающих собственным магнитным моментом. Установлено, что процессы релаксации намагниченности в такой среде аналогичны процессам релаксации магнитоупорядоченных систем с ближним порядком – эластичных дипольных стекол. При понижении температуры образца ниже температуры отвердевания система трансформируется в дипольное стекло, подобное изинговскому.

The paper presents the results of an experimental study of the magnetic properties of a magnetic fluid, the storage of a well-developed system of aggregates that have a real magnetic moment. An analysis of the magnetic state of the investigated medium was carried out by studying the processes of magnetization of a magnetic fluid in a magnetostatic and variable magnetic fields. It was determined that when the initial sample was diluted with a dispersion medium, the magnetic moments of the dispersed particles were ordered in a limited volume. This process resulted in the formation of large elastic aggregates, which possess their own magnetic moment. It was established that the processes of magnetization relaxation in such a medium are analogous to the relaxation of magnetically ordered systems with short-range order - elastic dipole glasses. When the sample temperature is lowered below the curing temperature, the system is transformed into a dipole glass, similar to the Ising one.

Ключевые слова: коллоидные системы, магнитная восприимчивость, дипольное стекло, магнитные наночастицы.

Key words: colloid systems, magnetic susceptibility, dipolar glass, magnetic particles.

Введение

Магнитные жидкости, представляющие высокодисперсные коллоиды ферро- и ферритмагнетиков являются уникальной средой, обладающей текучестью и способностью эффективно взаимодействовать с магнитным полем. Магнитные свойства таких систем определяются магнитными параметрами составляющих их однодоменных коллоидных частиц, их размерами и концентрацией. Их исследованию посвящено достаточно большое количество работ, обзор которых проводился в ряде монографий [1]–[4].

Релаксация намагничивания магнитных коллоидов может иметь особенности, связанные с вязкостью несущей среды, размером однодоменных частиц, параметром их кристаллографической анизотропии и структурным состоянием системы. Следует отметить, что достаточно сильное взаимодействие коллоидных частиц может привести к изменению структурного состояния магнитных жидкостей. Действительно, образование агрегатов в магнитных коллоидах отмечено в ряде работ [7–9]. При достижении определенных параметров системы наблюдается образование намагниченных агрегатов, состоящих из дисперсных наночастиц [10], [11]. Исследование поведения таких агрегатов в постоянных и переменных полях, а также особенностей намагничивания магнитных коллоидов, содержащих такие агрегаты, предпринималось ранее в ряде работ [12]–[14]. Очевидно, наличие в магнитной жидкости хорошо развитой системы намагниченных агрегатов, должно также приводить к изменению характера кинетики намагничивания таких сред.

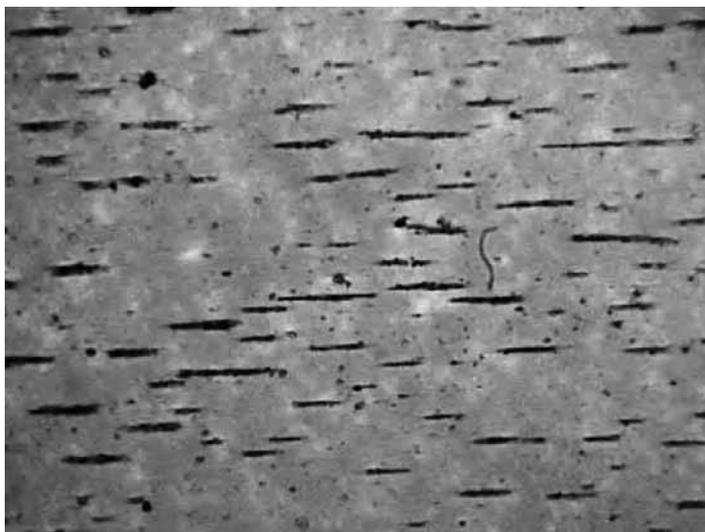
В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования кинетики намагничивания магнитных жидкостей, содержащих хорошо развитую систему намагниченных агрегатов. Проведено сравнение с результатами подобных исследований однородных (не агрегированных) магнитных жидкостей.

Материалы и методы исследований

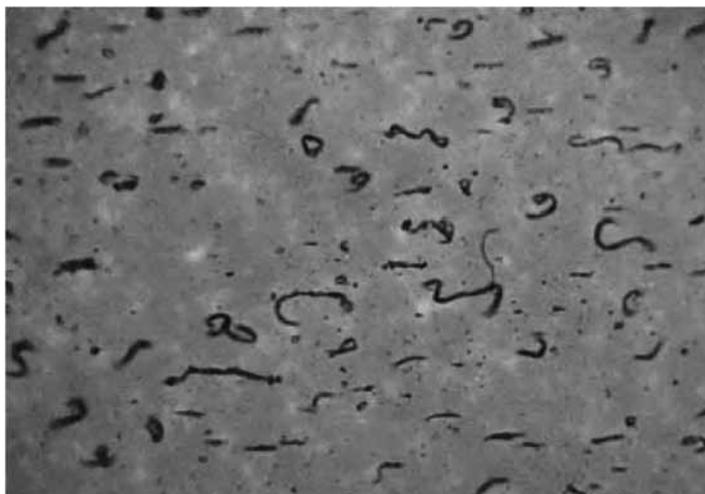
В качестве образца для исследований (образец № 1) была использована магнитная жидкость с магнетитовыми дисперсными частицами, стабилизированными олеиновой кислотой, а в качестве дисперсной среды выступал керосин марки ТС-1. Гранулометрический состав дисперсных частиц был определен по данным сканирующей электронной микроскопии. При этом было установлено, что средний размер магнетитовых частиц составлял 13,5 нм, а объемная концентрация 18,7 %. Исходный образец разбавлялся чистой дисперсионной средой до концентрации магнетитовых частиц 6,3 %. В результате этого процесса в объеме среды формировалась система вытянутых агрегатов. Эти образования обладали способностью ориентироваться вдоль приложенного магнитного поля и разворачивались на 180° при смене направления поля на противоположное (рис. 1). Средний размер таких агрегатов составлял около 10 мкм.

В качестве референсного образца была использована магнетитовая магнитная жидкость с керосином в качестве дисперсионной среды, не содержащая в своем объеме агрегатов частиц (образец №2). Средний размер магнитных наночастиц в этом образце составлял 9 нм.

Измерение намагниченности образцов осуществлялось с помощью вибрационного магнетометра LakeShore Cryotronics 7410, позволяющего проводить исследование намагниченности в широком температурном интервале (77 – 400 К) в постоянном магнитном поле, напряженностью до 3000 кА/м.



а) при воздействии постоянного магнитного поля;



б) кинетика поворота агрегатов при смене направления магнитного поля на противоположное.

Рис. 1. Агрегаты в объеме образца №1.

Комплексная магнитная восприимчивость исследовалась мостовым методом в частотном диапазоне от 20 Гц до 10 кГц путем измерения индуктивности и добротности измерительной катушки с исследуемым образцом с помощью прецизионного измерителя LCR WAYNEKERR 6500B, при этом амплитуда напряженности измерительного переменного поля составляла 20 А/м.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате исследования комплексной магнитной восприимчивости было установлено, что температурные зависимости действительной и мнимой частей магнитной восприимчивости агрегированного образца претерпевают максимумы в области температур, соответствующей жидкому состоянию магнитной жидкости. При этом максимум мнимой части восприимчивости соответствует более низкому значению температуры, чем максимум ее действительной части (рис. 2).

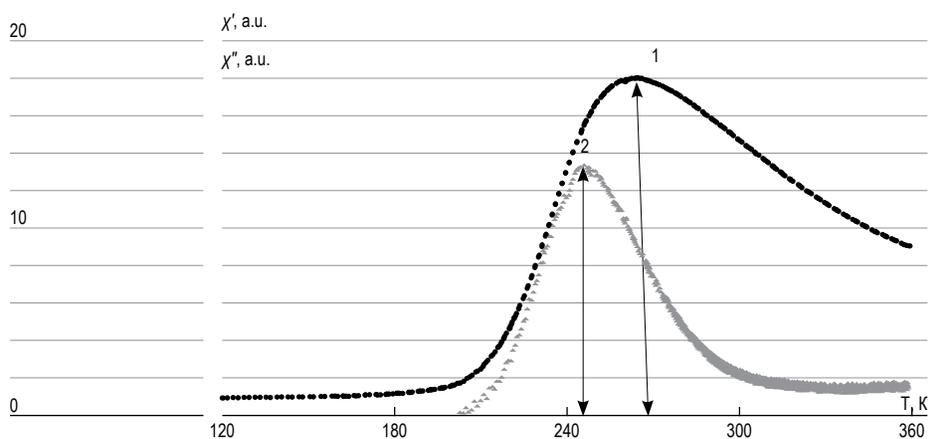


Рис 2. Температурная зависимость действительной (кривая 1) и мнимой (кривая 2) частей динамической магнитной восприимчивости образца №1.

Увеличение частоты измерительного поля приводит к смещению максимумов в область более высоких температур. В качестве иллюстрации этого на рисунке 3 приведены температурные зависимости мнимой части магнитной восприимчивости, полученные при различных частотах измерительного поля.

Следует отметить, что температурные зависимости действительной части магнитной восприимчивости исследованного образца претерпевают, кроме того, вторичные, слабо выражены максимумы в области температур, соответствующих твердому состоянию образца (рис. 4). Дополнительное воздействие постоянного магнитного поля делает эти экстремумы более выраженными.

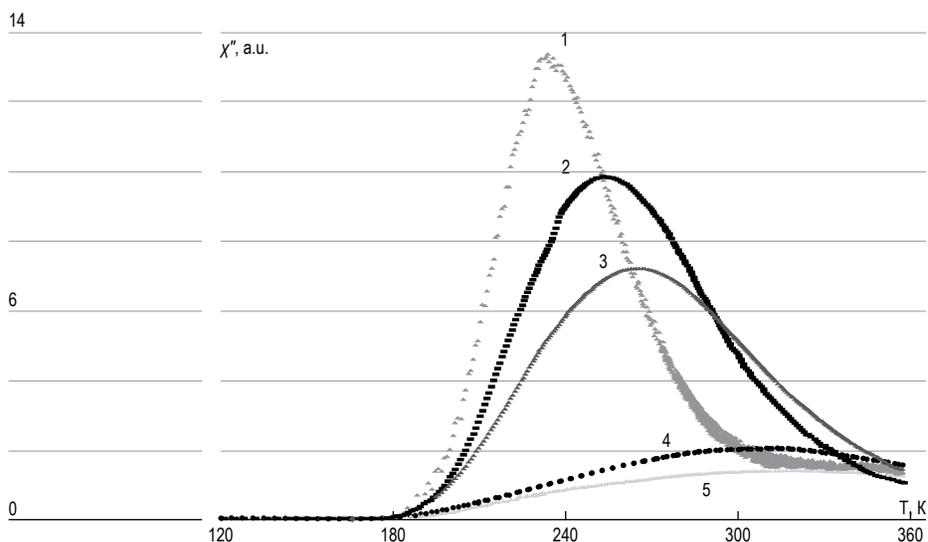


Рис. 3. Температурная зависимость мнимой части динамической восприимчивости образца №1 при различных частотах измерительного поля (1 – 30 Гц, 2- 156 Гц, 3 – 320 Гц, 4 – 3 кГц, 5 – 5 кГц).

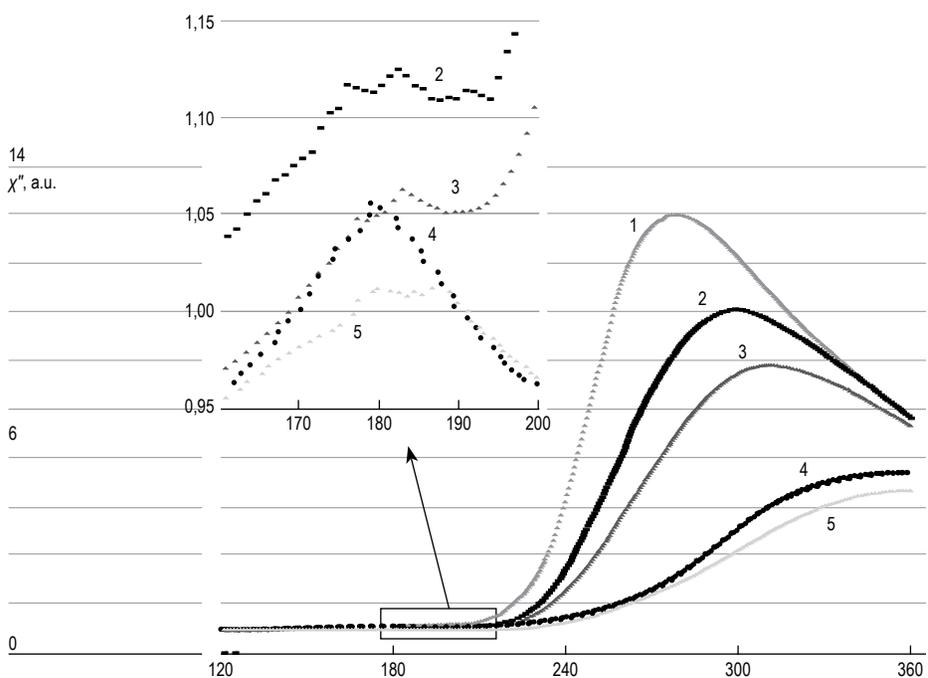


Рис. 4. Температурная зависимость действительной части динамической восприимчивости образца №1 при различных частотах измерительного поля (1 – 30 Гц, 2 – 156 Гц, 3 – 320 Гц, 4 – 3 кГц, 5 – 5 кГц).

Проведенные измерения комплексной магнитной восприимчивости однородного образца с такой же концентрацией магнитной фазы, как у образца с намагниченными агрегатами, показали, что температурные зависимости его действительной и мнимой частей магнитной восприимчивости также претерпевают максимумы, однако, значения соответствующих им температур мало-различимы и лежат в области температур перехода образца в твердое состояние. Кроме того, изменение частоты измерительного поля не приводит к существенному смещению температуры максимумов, как это наблюдалось для образца с намагниченными агрегатами.

Ранее, наличие максимумов на температурных зависимостях магнитной восприимчивости магнитных жидкостей констатировалось в ряде работ ([2, 8, 11] и др.). При этом в некоторых из них [2], [15], [16], он связывался с блокировкой броуновских степеней свободы коллоидных частиц вследствие затвердевания дисперсионной среды при понижении температуры. Как уже было указано ранее, область температур, соответствующая обнаруженным в настоящей работе максимумам на температурных зависимостях восприимчивости магнитной жидкости, содержащей хорошо развитую систему намагниченных агрегатов, лежит выше температуры замерзания образцов. Естественно предположить [17], что их наличие может быть связано с особенностями релаксационных процессов в ансамбле магнито жестких дипольных частиц. Действительно, согласно теории Дебая, действительная χ' и мнимая χ'' части комплексной магнитной восприимчивости монодисперсной магнитной жидкости могут быть описаны зависимостями:

$$\chi' = \frac{\chi_0}{1 + (\omega\tau)^2}, \quad (1)$$

$$\chi'' = \frac{\chi_0\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2}, \quad (2)$$

где χ_0 – статическая магнитная восприимчивость,
 ω – частота измерительного поля,
 τ – броуновское время релаксации магнитного момента, которое определяется выражением

$$\tau_B = \frac{3V\eta}{kT}, \quad (3)$$

здесь V – объем частицы,
 η – вязкость окружающей ее среды.

При понижении температуры характер изменения действительной части восприимчивости определяется с одной стороны ростом χ_0 , а с другой ее понижением, вследствие уменьшения вращательной подвижности с повышением вязкости при уменьшении температуры. Результатом этого и может являться наличие максимума на температурной зависимости действительной части магнитной восприимчивости. Подтверждением такого объяснения природы наблюдающихся максимумов может быть смещение соответствующей им температуры в область более высоких значений при увеличении частоты измерительного поля (рис. 3), а также наблюдающийся сдвиг максимума мнимой части относительно максимума действительной части в область более низких температур (рис. 2).

Анализ температурной зависимости мнимой части магнитной восприимчивости позволяет определить время релаксации намагниченности системы. Действительно, из выражения (2) для мнимой части восприимчивости видно, что максимальное значение она принимает при условии $\omega\tau = 1$. Это условие может быть достигнуто как при изменении частоты ω , так и времени релаксации τ при неизменной частоте измерительного поля, определяемого выражением (3). Изменение времени релаксации в данном случае происходит как непосредственно за счет понижения температуры, так и происходящего вследствие этого увеличения вязкости среды, в результате чего и достигается условие экстремума на зависимости $\chi''(T)$. Таким образом, экстремальный характер зависимости мнимой части восприимчивости от температуры может служить основанием для определения времени релаксации системы при температуре, соответствующей ее максимуму.

Известно [18], что вязкость связана с температурой соотношением вида

$$\eta = A \exp\left(\frac{W}{kT}\right), \quad (4)$$

где W – энергия активации жидкости.

Тогда для τ_B справедливо выражение

$$\tau_B = \frac{3VA}{kT} \exp\left(\frac{W}{kT}\right) \quad (5)$$

Так как множитель $1/T$ изменяется гораздо медленней с изменением температуры чем $\exp(W/kT)$, то можно утверждать, что температурная зависимость времени броуновской релаксации должна быть близка к экспоненциальной. Проведенный анализ температурной зависимости времени релаксации, полученной путем обработки температурных зависимостей

мнимой части восприимчивости, полученных при различных частотах поля, показал, что она действительно является экспоненциальной, однако энергия активации, определенная из экспериментальной зависимости оказалась гораздо выше энергии активации дисперсионной среды (керосина). Кроме того оказалось, что температурная зависимость времени релаксации на самом деле более точно может быть аппроксимирована зависимостью Вогеля-Фулчера

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U}{k(T - T_0)}\right),$$

характерной для описания систем, обладающим ближним порядком, так называемых дипольных стекол [19], [20]. При этом численные значения коэффициентов имеют следующие величины

$$\tau_0 = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с},$$

$$U = 0,29 \text{ эВ},$$

$$T_0 = 55 \text{ К}.$$

Можно предположить, что на вращение частиц, объединенных в агрегаты, существенную роль оказывает их взаимодействие, которое оказывает дополнительное сопротивление повороту частиц при воздействии переменного поля. Кроме того, частичное упорядочение их моментов (на что указывает наличие у агрегатов собственного магнитного момента) создает внутри них некое постоянное поле, действующее аналогично внешнему полю.

Как уже было указано выше, температурные зависимости магнитной восприимчивости имеют также аномалии в области более низких температур, соответствующих твердому состоянию образца (рис. 4). В работе [20] подобные максимумы, полученные при различных частотах переменного поля (0,01 Гц и 100 Гц) объяснены переходом системы в так называемое состояние дипольного стекла. Можно предположить, что наблюдающиеся в настоящей работе вторичные максимумы также характеризуют изменение магнитного состояния системы. Следует, однако, заметить, что эти аномалии хода температурной зависимости на этом участке можно также охарактеризовать, как минимумы в области температур, соответствующих переходу образца из твердого состояния в жидкое. Кроме того, исследованный образец в настоящей работе уже содержал хорошо развитую систему намагниченных агрегатов при более высоких температурах, соответствующих его жидкому состоянию, наличие которой должно приводить к формированию в образце магнитного состояния, описание которого на основе теории Ланжевена очевидно невозможно. При этом, переход образца в твердое состо-

яние должен привести к новым особенностям намагничивания таких систем и, возможно, к дальнейшему изменению магнитного состояния системы в целом.

Выводы

В результате анализа процессов намагничивания магнитной жидкости, содержащей развитую систему намагниченных агрегатов было установлено, что ее магнитное состояние существенно отличается от однородной (не агрегированной) магнитной жидкости. В диапазоне температур, соответствующих жидкому состоянию дисперсионной среды, релаксационные характеристики агрегированной жидкости аналогичны магнитным системам с коррелированными магнитными моментами – дипольным или суперспиновым стеклам. Таким образом, было определено, что при разбавлении исходного образца дисперсионной средой происходит упорядочение магнитных моментов дисперсных частиц в ограниченном объеме. Результатом этого процесса является формирование крупных эластичных агрегатов, обладающих собственным магнитным моментом. При понижении температуры образца ниже точки отвердевания система трансформируется в дипольное стекло, подобное изинговскому.

Библиографический список

1. Shliomis M. I. Magnetic fluids //Sov. Phys. Uspekhi, 1974, vol. 17, no. 2, p. 153.
2. Диканский Ю. И. Экспериментальное исследование эффективных магнитных полей в магнитной жидкости //Магнитная гидродинамика, 1982, №. 3, С. 33–36.
3. Cebers A. Physical properties and models of magnetic fluids// Magnetohydrodynamics, 1991, vol. 27, no. 4, pp. 381–393.
4. Pshenichnikov A. F., Lebedev A. V. Magnetic susceptibility of concentrated ferrocolloids // Colloid J., 2005, vol. 67, no. 2, pp. 189–200.
5. Peterson E. A., Krueger D. A. Reversible, field induced agglomeration in magnetic colloids // J. Colloid Interface Sci., 1977, vol. 62, no. 1, pp. 24–34.

6. Gennes P. G., Pincus P. A. Pair correlations in a ferromagnetic colloid // *Phys. der Kondens. Mater.*, 1970, vol. 11, no. 3, pp. 189–198.
7. Hayes C. F. Observation of association in a ferromagnetic colloid // *J. Colloid Interface Sci.*, 1975, vol. 52, no. 2, pp. 239–243.
8. Цеберс А. О. К вопросу о причинах образования микрокапельных агрегатов в коллоидах ферромагнетиков // *Магнитная гидродинамика*, 1987, № 3, С. 143–145.
9. Берковский Б. М., Медведев В. Ф., Краков М. С. *Магнитные жидкости* // М: Химия, 1989.
10. Dikansky Y. I., Balabanov K. A., Borisenko O. V., Kiselev V. V. Magnetic ordering in a magnetic fluid containing quasi-solid aggregates // *Magnetohydrodynamics*, 1997, vol. 33, no. 22, pp. 202–204.
11. Dikanskii Y. I., Vegera Z. G., Zakinyan R. G., Nechaeva O. A., Gladkikh D. V. On the possibility of structural and magnetic ordering in magnetic colloids // *Colloid J.*, 2005, vol. 67, no. 2, pp. 134–139.
12. Dikansky Y. I., Gladkikh D. V., Kunikin S. A., Zolotukhin A. A. Magnetic ordering in colloidal systems of single-domain particles // *Magnetohydrodynamics*, 2012, vol. 48, no. 3, pp. 493–502.
13. Dikansky Y. I., Gladkikh D. V., Shevchenko A. Y., Sidelnikov A. A. Magnetization features of thin layers of magnetic fluids with a well-developed system of magnetized aggregates // *Magnetohydrodynamics*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 27–34.
14. Dikanskii Y. I., Gladkikh D. V., Kunikin S. A., Zolotukhin A. A. On magnetic ordering in colloids of single-domain particles // *Tech. Phys.*, 2012, vol. 57, no. 5, pp. 711–715.
15. Raikher Y. L., Pshenichnikov A. F. Dynamic susceptibility of concentrated magnetic liquids // *JETP Lett.*, 1985, vol. 41, no. 3, pp. 109–111.
16. Morozov K. I., Pshenichnikov A. F., Raikher Y. L., Shliomis M. I. Magnetic properties of ferrocolloids: The effect of interparticle interactions // *J. Magn. Magn. Mater.*, 1987, vol. 65, no. 2–3, pp. 269–272.
17. Blums E. S., Cebers A. O., Maiorov M. M. *Magnetic Fluids*. De Gruyter, 1997.
18. Frenkel J. *Kinetic Theory of Liquids*. Dover publication, 1955.
19. Minakov A. A., Zaitsev I. A., Lesnih U. I. Critical behaviour of magnetic fluids near superparamagnetic- dipole-glass transition // *J. Magn. Magn. Mater.*, 1990, vol. 85, no. 1–3, pp. 60–62.
20. Zhang J., Boyd C., Luo W. Two Mechanisms and a Scaling Relation for Dynamics in Ferrofluids // *Phys. Rev. Lett.*, 1996, vol. 77, pp. 390–393.

References

1. Shliomis M. I. Magnetic fluids //Sov. Phys. Uspekhi, 1974, vol. 17, no. 2, p. 153.
2. Dikanskii Y. I. Eksperimental'noye issledovaniye effektivnykh magnitnykh poley v magnitnoy zhidkosti //Magnitnaya gidrodinamika (Experimental study of effective magnetic fields in a magnetic fluid // Magnetohydrodynamics). 1982, vol. 3, pp. 33–36.
3. Cebers A. Physical properties and models of magnetic fluids// Magnetohydrodynamics, 1991, vol. 27, no. 4, pp. 381–393.
4. Pshenichnikov A. F., Lebedev A. V. Magnetic susceptibility of concentrated ferrocolloids // Colloid J., 2005, vol. 67, no. 2, pp. 189–200.
5. Peterson E. A., Krueger D. A. Reversible, field induced agglomeration in magnetic colloids // J. Colloid Interface Sci., 1977, vol. 62, no. 1, pp. 24–34.
6. Gennes P. G., Pincus P. A. Pair correlations in a ferromagnetic colloid //Phys. der Kondens. Mater., 1970, vol. 11, no. 3, pp. 189–198.
7. Hayes C. F. Observation of association in a ferromagnetic colloid // J. Colloid Interface Sci., 1975, vol. 52, no. 2, pp. 239–243.
8. Cebers A. K voprosu o prichinakh obrazovaniya mikrokapel'nykh agregatov v kolloidakh ferromagnetikov // Magnitnaya gidrodinamika (To the question of the causes of the formation of microdroplet aggregates in colloids of ferromagnets // Magnetohydrodynamics). 1987, №. 3, С. 143–145.
9. Berkovskii B.M., Medvedev V.F., Krakow M.S. Magnitnyye zhidkosti // M. : Khimiya (Magnetic fluids// M: Chemistry). 1989.
10. Dikansky Y. I., Balabanov K. A., Borisenko O. V., Kiselev V. V. Magnetic ordering in a magnetic fluid containing quasi-solid aggregates // Magnetohydrodynamics, 1997, vol. 33, no. 22, pp. 202–204.
11. Dikanskii Y. I., Vegera Z. G., Zakinyan R. G., Nechaeva O. A., Gladkikh D. V. On the possibility of structural and magnetic ordering in magnetic colloids// Colloid J., 2005, vol. 67, no. 2, pp. 134–139.
12. Dikansky Y. I., Gladkikh D. V., Kunikin S. A., Zolotukhin A. A. Magnetic ordering in colloidal systems of single-domain particles // Magnetohydrodynamics, 2012, vol. 48, no. 3, pp. 493–502.
13. Dikansky Y. I., Gladkikh D. V., Shevchenko A. Y., Sidelnikov A. A. Magnetization features of thin layers of magnetic fluids with a well-developed system of magnetized aggregates// Magnetohydrodynamics, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 27–34,.
14. Dikanskii Y. I., Gladkikh D. V., Kunikin S. A., Zolotukhin A. A. On

- magnetic ordering in colloids of single-domain particles // *Tech. Phys.*, 2012, vol. 57, no. 5, pp. 711–715.
15. Raikher Y. L., Pshenichnikov A. F. Dynamic susceptibility of concentrated magnetic liquids // *JETP Lett.*, 1985, vol. 41, no. 3, pp. 109–111.
 16. Morozov K. I., Pshenichnikov A. F., Raikher Y. L., Shliomis M. I. Magnetic properties of ferrocolloids: The effect of interparticle interactions // *J. Magn. Magn. Mater.*, 1987, vol. 65, no. 2–3, pp. 269–272.
 17. Blums E. S., Cebers A. O., Maiorov M. M. *Magnetic Fluids*. De Gruyter, 1997.
 18. Frenkel J. *Kinetic Theory of Liquids*. Dover publication, 1955.
 19. Minakov A. A., Zaitsev I. A., Lesnih U. I. Critical behaviour of magnetic fluids near superparamagnetic- dipole-glass transition // *J. Magn. Magn. Mater.*, 1990, vol. 85, no. 1–3, pp. 60–62.
 20. Zhang J., Boyd C., Luo W. Two Mechanisms and a Scaling Relation for Dynamics in Ferrofluids // *Phys. Rev. Lett.*, 1996, vol. 77, pp. 390–393.

УДК 517.95

Редькина Т.В. [Redkina T.V.]

СОЛИТОННЫЕ РЕШЕНИЯ КОМПЛЕКСИФИКАЦИИ УРАВНЕНИЯ КОРТЕВЕГА – ДЕ ВРИЗА

Solitone solutions complexifications of the Korteweg – de Vriz equation

К комплексификации уравнения Кортевега – де Вриза применен метод Хироты для построения n -солитонных решений. Для использования метода комплексное уравнение заменено системой двух уравнений третьего порядка на две действительные функции, которая с помощью дифференциального оператора Хироты сведена к билинейному виду, квадратичному по рассматриваемым функциям. Проведено доказательство существования односолитонного решения – действительная часть которого имеет вид солитона, а мнимая часть – кинка. Доказано, что использование классического подхода теории возмущений не дает возможности построить двусолитонное решение. Найдена специальная связь между неизвестными функциями, позволившая свести систему к одному билинейному уравнению, для которого построено двусолитонное решение. Показано, что полученный полином Хироты не удовлетворяет нужным свойствам, что привело к невозможности построения трехсолитонного решения.

The Hirota method for construction of soliton solutions is applied to the complexification of the Korteweg-de Vries equation. To use the method, the complex equation is replaced by a system of two third-order equations into two real functions, which, using the Hirota differential operator, is reduced to a bilinear form that is quadratic in the functions considered. The existence of a one-soliton solution is proved, the real part of which has the form of a soliton, and the imaginary part is a kink. It is proved that the use of the classical perturbation theory approach does not make it possible to construct a two-soliton solution. A special connection between unknown functions is found, which made it possible to reduce the system to a single bilinear equation for which a two-soliton solution is constructed. It is shown that the obtained Hirota polynomial does not satisfy the required properties, which led to the impossibility of constructing a three-soliton solution.

Ключевые слова: уравнения в частных производных, метод Хироты, точные решения нелинейных уравнений в частных производных, солитоны, автомодельное решение.

Key words: partial differential equations, Hirota method, exact solutions of nonlinear partial differential equations, solitons, self-similar solution.

Введение

При решении уравнений в частных производных особое место занимают те методы, которые позволяют найти точные решения. Так в теории солитонов, к математическим моделям, обладающим операторной парой Лакса, применимы следующие подходы: метод обратной задачи рассеяния, метод Пенлеве, метод Хироты, использование преобразований Бэклунда и др. Большинство из них позволяют найти или общее или частое решение.

Так метод Хироты [1–3] позволяет найти солитонные или солитоноподобные решения нелинейных уравнений в частных производных. Его формализм практически всегда срабатывает для уравнений, имеющих пару Лакса. Метод основан на следующих идеях:

1. Провести замену зависимой переменной так, чтобы новое уравнение имело билинейную форму, квадратичную по зависимым переменным.
2. Рассмотреть формальные ряды теории возмущений для этого уравнения. В случае солитонных решений эти ряды обрываются.
3. Методом математической индукции доказать предполагаемую n -солитонную форму решения.

Материалы и методы исследований

Рассмотрим комплексификацию уравнения Кортевега – де Вриза, обладающую парой Лакса [7]

$$u_t = 6\bar{u}_x u + 3(\bar{u} - u)u_x + \frac{1}{2}(u - 3\bar{u})_{xxx} \quad (1)$$

Разделяя действительную и мнимую части $u(x,t) = v(x,t) + i\omega(x,t)$ в (1), получим

$$\begin{aligned} v_t &= 6v v_x + 12\omega \omega_x - v_{xxx}, \\ \omega_t &= 2\omega_{xxx} - 6v\omega_x, \end{aligned} \quad (2)$$

где $v(x,t)$, $\omega(x,t)$ – действительные функции двух переменных.

Нужную замену зависимых переменных можно вывести регулярным образом. Выполним в (2) следующую замену функций

$$v(x,t) = \frac{F(x,t)}{T(x,t)}, \quad \omega(x,t) = \frac{P(x,t)}{Q(x,t)} \quad (3)$$

где вид произвольных функций $F(x,t)$, $P(x,t)$, $T(x,t)$, $Q(x,t)$ будет уточнен в ходе дальнейших исследований. Воспользуемся определением оператора дифференцирования, изобретенного Хиротой D_x :

$$v_x = \frac{1}{T^2} D_x F \circ T, \quad \omega_x = \frac{1}{Q^2} D_x P \circ Q, \quad v_t = \frac{1}{T^2} D_t F \circ T, \quad \omega_t = \frac{1}{Q^2} D_t P \circ Q,$$

тогда производные, входящие в систему (2) переписуются в виде

$$\begin{aligned} \omega_{xxx} &= \frac{1}{Q^2} D_x^3 P \circ Q - \frac{3}{Q^4} (D_x^2 Q \circ Q)(D_x P \circ Q), \\ v_{xxx} &= \frac{1}{T^2} D_x^3 F \circ T - \frac{3}{T^4} (D_x^2 T \circ T)(D_x F \circ T). \end{aligned}$$

В результате подстановки в (2), получим систему, связывающую четыре неизвестные функции

$$\frac{1}{T^2}(D_t + D_x^3)F \circ T - \frac{3}{T^4}(2FT + D_x^2T \circ T)D_x F \circ T = 12 \frac{P}{Q^3} D_x P \circ Q, \quad (4)$$

$$(D_t - 2D_x^3)P \circ Q = -6 \left(\frac{1}{Q^2} D_x^2 Q \circ Q + \frac{F}{T} \right) D_x P \circ Q. \quad (5)$$

Так как в полученной системе существует некоторый произвол, то выдвинем дополнительные условия так, чтобы уравнения упростились и приняли квадратичный вид, положим

$$\frac{F(x,t)}{T(x,t)} = -2\partial_x^2 \ln Q(x,t), \quad T(x,t) = Q^2(x,t), \quad (6)$$

тогда система (4), (5) примет вид

$$D_x \left((D_x D_t + D_x^4) Q \circ Q + 6P^2 \right) \circ Q^2 = 0. \quad (7)$$

$$(D_t - 2D_x^3)P \circ Q = 0. \quad (8)$$

Первое равенство (7) можно упростить, если предположить, что оператор D_x действует на пропорциональные функции, т.е.

$$(D_x D_t + D_x^4) Q \circ Q + 6P^2 = \alpha Q^2, \quad (9)$$

где α – произвольный параметр.

ЛЕММА 1. Система (2) имеет билинейную форму, квадратичную по зависимым переменным вида (8), (9), где

$$\nu(x,t) = -2\partial_x^2 \ln Q(x,t), \quad \omega(x,t) = \frac{P(x,t)}{Q(x,t)} \quad (10)$$

Предположим, что функции P и Q могут быть представлены в виде формальных рядов по степеням ε :

$$\begin{aligned} P &= a + \varepsilon p_1 + \varepsilon^2 p_2 + \dots, & a &= \text{const} \\ Q &= 1 + \varepsilon q_1 + \varepsilon^2 q_2 + \dots, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{где } p_1 = \sum_{i=1}^n e^{\tau_i + \eta_i}, \quad q_1 = \sum_{i=1}^n e^{\tau_i + \mu_i}, \quad \tau_i = k_i x + r_i t, \quad k_i, r_i, \eta_i, \mu_i = \text{const}. \quad (12)$$

Для всех задач, допускающих точное n -солитонное решение, эти формальные ряды обрываются. Подставим (11) в (8), (9), тогда на функции p_i и q_i получим уравнения, распадающиеся по степеням ε

$$\varepsilon^0: 6a^2 = \alpha \quad (13)$$

из которого определяем произвольный параметр α , с учетом (13), остальные равенства примут вид (где ∂_t, ∂_x – частные производные в обычном смысле):

$$\varepsilon^1: \begin{cases} (\partial_t - 2\partial_x^3)(p_1 - aq_1) = 0, \\ (\partial_t \partial_x + \partial_x^4)q_1 + 6a(p_1 - aq_1) = 0; \end{cases} \quad (14)$$

$$\varepsilon^2: \begin{cases} (\partial_t - 2\partial_x^3)(p_2 - aq_2) = (D_t - 2D_x^3)q_1 \circ p_1, \\ 2(\partial_t \partial_x + \partial_x^4)q_2 + 12a(p_2 - aq_2) = 6(a^2 q_1^2 - p_1^2) - (D_t D_x + D_x^4)q_1 \circ q_1; \end{cases} \quad (15)$$

$$\varepsilon^3: \begin{cases} (\partial_t - 2\partial_x^3)(p_3 - aq_3) = (D_t - 2D_x^3)(q_2 \circ p_1 + q_1 \circ p_2), \\ (\partial_t \partial_x + \partial_x^4)q_3 + 6a(p_3 - aq_3) = 6(a^2 q_1 q_2 - p_1 p_2) - (D_t D_x + D_x^4)q_1 \circ q_2. \end{cases} \quad (16)$$

и т.д.

$$\varepsilon^4: \begin{cases} (\partial_t - 2\partial_x^3)(p_n - aq_n) = (D_t - 2D_x^3) \sum_k^{n-k} q_k \circ p_{n-k}, \\ 2(\partial_t \partial_x + \partial_x^4)q_n + 12a(p_n - aq_n) = 6 \sum_{k=1}^{n-1} (a^2 q_k q_{n-k} - p_k p_{n-k}) - (D_t D_x + D_x^4) \sum_k^{n-k} q_k \circ q_{n-k}. \end{cases} \quad (17)$$

При $n = 1$ возьмем $p_1 = e^{\tau_1 + \eta_1}$ и $q_1 = e^{\tau_1 + \mu_1}$. Тогда из первого уравнения системы (14) следует, что $r_1 = 2k_1^3$, а из второго уравнения этой системы определим соотношение между постоянными η_1 и μ_1 :

$$e^{\eta_1} = \left(a - \frac{k_1^4}{2a} \right) e^{\mu_1}. \quad (18)$$

При $a = \pm \frac{k_1^2}{2}$ правая часть (15) обращается в нуль, поэтому можно положить $p_2 = q_2 = 0$, и ряд обрывается. Таким образом, при $n = 1$ решение системы (2) найдено (дополнительно полагаем $\varepsilon = 1$),

$$v(x, t) = -2\partial_x^2 \ln(1 + e^{k_1 x + 2k_1^3 t + \mu_1}), \quad \omega(x, t) = \pm \frac{k_1^2}{2} \frac{1 - e^{k_1 x + 2k_1^3 t + \mu_1}}{1 + e^{k_1 x + 2k_1^3 t + \mu_1}}$$

возвращаясь к уравнению (1) его решение примет вид

$$u(x, t) = \frac{k_1^2}{2} \left[-\operatorname{sech} \frac{1}{2} (k_1 x + 2k_1^3 t + \mu_1) \pm i \operatorname{th} \frac{1}{2} (k_1 x + 2k_1^3 t + \mu_1) \right]. \quad (19)$$

Доказана следующая

ТЕОРЕМА 1. Уравнение (1) имеет односолитонное решение вида (19),

где k_1, μ_1 – произвольные постоянные, i – мнимая единица.

Действительная часть функции (19) представляет обычный солитон, а мнимая часть решения является кинком. Решения –

$$\pm \operatorname{th} a(x - bt)$$

- типа «кинк» («антикинк») не обладают простыми столкновительными свойствами солитона. Эти решения могут сталкиваться неупруго, сцепляясь или уничтожая друг друга; кроме того, в процессе столкновения они всегда испускают некоторое осциллирующее возмущение, или «излучение».

Перейдем к построению двусолитонного решения. При $n = 2$ в качестве p_1 и q_1 выберем соответственно

$$p_1 = e^{\tau_1 + \eta_1} + e^{\tau_2 + \eta_2}, \quad q_1 = e^{\tau_1 + \mu_1} + e^{\tau_2 + \mu_2}, \quad (20)$$

причем для выполнения первой системы (14) структура связи независимых переменных сохраняется в виде, найденном на первом этапе

$$\tau_i = k_i x + 2k_i^3 t, \quad i = 1, 2.$$

Функции $v \sim a_a \zeta^a$ для солитонного решения должны содержать только члены $e^{\tau_1 + \tau_2 + \eta_{12}}$ и $e^{\tau_1 + \tau_2 + \mu_{12}}$, а коэффициенты при $e^{2\tau_1}$, $e^{2\tau_2}$, $e^{\tau_1 + 2\tau_2}$, $e^{2\tau_1 + \tau_2}$, $e^{2(\tau_1 + \tau_2)}$, обнуляются. Выполним подстановку (20) в (15) и определим вид p_1, q_1 :

$$(\partial_t - 2\partial_x^3)(p_2 - aq_2) = 6k_1 k_2 (k_1 - k_2) (e^{\mu_1 + \eta_2} - e^{\mu_2 + \eta_1}) e^{(k_1 + k_2)x + 2(k_1^3 + k_2^3)t}, \quad (21)$$

$$\begin{aligned} (\partial_t \partial_x + \partial_x^4) q_2 + 6a(p_2 - aq_2) = & 3(a^2 e^{2\mu_1} - e^{2\eta_1}) e^{2k_1 x + 4k_1^3 t} + 3(a^2 e^{2\mu_2} - e^{2\eta_2}) e^{2k_2 x + 4k_2^3 t} + \\ & + 3[(2a^2 - (k_1^2 + k_2^2))(k_1 - k_2)^2] e^{\mu_1 + \mu_2} - 2e^{\eta_1 + \eta_2}] e^{(k_1 + k_2)x + 2(k_1^3 + k_2^3)t}, \end{aligned} \quad (22)$$

В силу тождественного выполнения системы (14) выполняются условия (18) $e^{\eta_i} = \left(a - \frac{k_i^4}{2a}\right) e^{\mu_i}$, $i = 1, 2$. Анализируя (21) (22), видим, что в первом равенстве $p_2 - aq_2$ содержит только функции $e^{\tau_1 + \tau_2 + \eta_{12}}$, $e^{\tau_1 + \tau_2 + \mu_{12}}$ где $\tau_1 + \tau_2 = (k_1 + k_2)x + 2(k_1^3 + k_2^3)t$, полагая $p_2 - aq_2 = e^{\tau_1 + \tau_2 + \eta_{12}} - a e^{\tau_1 + \tau_2 + \mu_{12}}$, имеем

$$(\partial_t - 2\partial_x^3) [e^{\tau_1 + \tau_2 + \eta_{12}} - a e^{\tau_1 + \tau_2 + \mu_{12}}] = -6k_2 k_1 [k_2 + k_1] [e^{\eta_{12}} - a e^{\mu_{12}}] e^{(k_1 + k_2)x + 2(k_1^3 + k_2^3)t},$$

следовательно,

$$e^{\eta_2} = ae^{\mu_2} - (k_2 - k_1)^2 \frac{k_1^2 + k_2^2}{2a} e^{\mu_1 + \mu_2},$$

но p_2 и q_2 могут содержать и другие функции. В результате второе равенство доопределяет функцию q_2

$$\begin{aligned} (\partial_t \partial_x + \partial_x^4) q_2 = & 3k_1^4 \left(1 - \frac{k_1^4}{4a^2}\right) e^{2k_1 x + 4k_1^3 t + 2\mu_1} + 3k_2^4 \left(1 - \frac{k_2^4}{4a^2}\right) e^{2k_2 x + 4k_2^3 t + 2\mu_2} + \\ & + 3 \left[k_2^4 + k_1^4 - \frac{k_1^4 k_2^4}{2a^2} \right] e^{(k_1 + k_2)x + 2(k_1^3 + k_2^3)t + \mu_1 + \mu_2}. \end{aligned}$$

Из этих формул видно, что коэффициенты при $e^{2\tau_1}$, $e^{2\tau_2}$, полученные при рассмотрении 2-солитонных решений, автоматически в нуль не обратились. Поэтому левая часть, с найденными значениями, также не обращается в нуль, следовательно, надо положить, что q_2 содержит члены пропорциональные $e^{2\tau_1 + \mu_1}$, $e^{2\tau_2 + \mu_2}$, $e^{2\tau_1 + \tau_2 + \mu_1 + \mu_2}$, а

$$\begin{aligned} e^{\mu_1} = \frac{1}{8} \left(1 - \frac{k_1^4}{4a^2}\right) e^{2\mu_1}, \quad e^{\mu_2} = \frac{1}{8} \left(1 - \frac{k_2^4}{4a^2}\right) e^{2\mu_2}, \\ (k_1^2 + k_2^2)(k_1 + k_2)^2 e^{\mu_1 + \mu_2} = \left[k_2^4 + k_1^4 - \frac{k_1^4 k_2^4}{2a^2} \right] e^{\mu_1 + \mu_2}. \end{aligned}$$

В результате получаем следующий вид функций p_2 и q_2 :

$$\begin{aligned} p_2 = aq_2 - \frac{(k_1 - k_2)^2 (k_1^2 + k_2^2)}{2a} e^{\tau_1 + \tau_2 + \mu_1 + \mu_2}, \quad q_2 = \frac{1}{8} \left(1 - \frac{k_1^4}{4a^2}\right) e^{2(\tau_1 + \mu_1)} + \\ + \frac{1}{8} \left(1 - \frac{k_2^4}{4a^2}\right) e^{2(\tau_2 + \mu_2)} + \left[k_1^4 + k_2^4 - \frac{k_1^4 k_2^4}{2a^2} \right] (k_1 + k_2)^{-2} (k_1^2 + k_2^2)^{-1} e^{\tau_1 + \tau_2 + \mu_1 + \mu_2}. \end{aligned} \quad (23)$$

Чтобы (23) давало 2-солитонное решение необходимо показать, что ряд обрывается и $p_3 = 0$, $q_3 = 0$, тогда, правая часть системы (16) обнуляется.

Как показывает проверка правая часть (16) с найденными значениями не обращается в нуль, поэтому p_3 и q_3 отличны от нуля и ряд (8) не обрывается. Это означает, что 2-солитонное решение системы рассмотренного вида построить нельзя.

Полученный отрицательный результат, на первый взгляд, говорит о том, что метод Хироты не работает, но с другой – наводит на новые идеи. Возможно ли рассмотреть другой вид связи многочленов P и Q , так чтобы су-

уществовали n -солитонные решения. Для построения 2-солитонного решения уравнения вернемся к операторной системе (8), (9) и в равенстве (9) выполним следующие преобразования

$$(D_t - 2D_x^3)(aQ - P) \circ (aQ + P) = 2a(D_t - 2D_x^3)Q \circ P. \quad (24)$$

Теперь если подействовать оператором $D_t - 2q_x^3$ на (24), то получим

$$D_x(D_t - 2D_x^3)(D_t + D_x^3)Q \circ Q = 6(D_t - 2D_x^3)(aQ - P) \circ (aQ + P) = 12a(D_t - 2D_x^3)Q \circ P,$$

в силу (8) окончательно запишем систему

$$\begin{aligned} D_x(D_t^2 - D_t D_x^3 - 2D_x^6)Q \circ Q &= 0, \\ (D_t - 2D_x^3)Q \circ P &= 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Второе уравнение (25) не представляет интереса, поскольку в нашей задаче теперь P определяется из (9) в виде

$$P = \pm \sqrt{a^2 Q^2 - \frac{1}{6}(D_x D_t + D_x^4)Q \circ Q}, \quad (26)$$

тогда решение системы (2) примет вид:

$$v(x, t) = -2\partial_x^2 \ln Q(x, t), \quad \omega(x, t) = \pm \sqrt{a^2 - \frac{1}{6Q^2}(D_x D_t + D_x^4)Q \circ Q}. \quad (27)$$

Первое уравнение системы (25) является тождеством для любой функции Q в силу нечетности D -оператора. Поэтому будем рассматривать уравнение

$$(D_t^2 - D_t D_x^3 - 2D_x^6)Q \circ Q = 0. \quad (28)$$

ЛЕММА 2. Система (2) эквивалентна уравнению (28), где $a - const$, $v(x, t)$, $\omega(x, t)$ – имеют вид (27).

Будем решать (28), разлагая Q в степенной ряд по параметру ε

$$Q = 1 + \varepsilon q_1 + \varepsilon^2 q_2 + \dots \quad (29)$$

Подставим (29) в (28) и объединим члены с одинаковыми степенями ε :

$$\varepsilon: 2(\partial_t^2 - \partial_t \partial_x^3 - 2\partial_x^6)q_1 = 0, \quad (30)$$

$$\varepsilon^4: 2\left(\partial_t^2 - \partial_t \partial_x^3 - 2\partial_x^6\right)q_2 = -\left(D_t^2 - D_t D_x^3 - 2D_x^6\right)q_1 \circ q_1, \quad (31)$$

$$\varepsilon^3: 2\left(\partial_t^2 - \partial_t \partial_x^3 - 2\partial_x^6\right)q_3 = -\left(D_t^2 - D_t D_x^3 - 2D_x^6\right)(q_2 \circ q_1 + q_1 \circ q_2), \quad (32)$$

$$\varepsilon^4: 2\left(\partial_t^2 - \partial_t \partial_x^3 - 2\partial_x^6\right)q_4 = -\left(D_t^2 - D_t D_x^3 - 2D_x^6\right)(q_3 \circ q_1 + q_2 \circ q_2 + q_1 \circ q_3), \dots \quad (33)$$

Из уравнения (30) имеем

$$q_1 = \sum_{i=1}^N e^{\tau_i + \mu_i}, \quad (34)$$

где $\tau_i = k_i x + r_i t$, μ_i , k_i , r_i – постоянные, удовлетворяющие уравнению

$$r_i^2 - r_i k_i^3 - 2k_i^6 = 0, \quad (35)$$

из которого $(r_i + k_i^3)(r_i - 2k_i^3) = 0$ находим два решения

$$r_i = -k_i^3, \quad r_i = 2k_i^3. \quad (36)$$

Подставляя (34) в (31), найдем, что вследствие свойства D -оператора члены, подобные $2\tau_i$, исключаются из правой части (31). Тогда, используя свойство

$$\Phi(D_x, D_t) e^{k_1 x + r_1 t} \circ e^{k_2 x + r_2 t} = \Phi(k_1 - k_2, r_1 - r_2) e^{(k_1 + k_2)x + (r_1 + r_2)t},$$

где $\Phi(D_t, D_x)$ – полиномы Хироты от D_t и D_x свойства которых более подробно рассмотрено в [1–3]. Для

$$q_2 = e^{\tau_1 + \tau_2 + \mu_{12}}, \quad \mu_{12} = \text{const}, \quad (37)$$

и полинома $\Phi(D_x, D_t) = D_t^2 - D_t D_x^3 - 2D_x^6$, определяющего правую часть системы (30) – (33), из (31) найдем функцию фазового сдвига

$$e^{\mu_{12}} = -\frac{(r_1 - r_2)^2 - (k_1 - k_2)^3 (r_1 - r_2) - 2(k_1 - k_2)^6}{(r_1 + r_2)^2 - (k_1 + k_2)^3 (r_1 + r_2) - 2(k_1 + k_2)^6} e^{\mu_1 + \mu_2}. \quad (38)$$

Соответственно для первого и второго значений связи между параметрами k_i , r_i (36) корней уравнения (35) определим неизвестную постоянную $e^{\mu_{12}}$:

1. $e^{\mu_{12}} = \frac{(k_2 - k_1)^3 (k_2^3 + k_1^3)}{(k_1 + k_2)^3 (k_2^3 - k_1^3)} e^{\mu_1 + \mu_2};$
2. $e^{\mu_{12}} = \left(\frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2}\right)^2 e^{\mu_1 + \mu_2}.$

Коэффициенты правой части (32) при $e^{2\tau_1}$, $e^{2\tau_2}$, $e^{2\tau_1+2\tau_2}$, обращаются в нуль, коэффициенты при $e^{2\tau_1+\tau_2}$, $e^{\tau_1+2\tau_2}$, возникающие при умножении e^{τ_1} , e^{τ_2} на $e^{\tau_1+\tau_2}$ дает $\Phi(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_1) = \Phi(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_2) = 0$, в силу того, что параметры k_i, r_i удовлетворяют уравнению (35) (здесь использована более компактная векторная запись аргументов в полиноме Хироты $(\mathbf{k}_i - \mathbf{k}_j) = (k_i - k_j, r_i - r_j)$). Поэтому q_3 можно положить равным нулю и двусолитонное решение существует и определяется следующей теоремой.

ТЕОРЕМА 2. Уравнение (28) имеет 2-солитонное решение

$$Q = 1 + e^{\tau_1+\mu_1} + e^{\tau_2+\mu_2} + e^{\tau_1+\tau_2+\mu_{12}},$$

где $\tau_i = k_i x + r_i t$, μ_i, k_i, r_i – постоянные, удовлетворяющие уравнению

$$r_i^2 - r_i k_i^3 - 2k_i^6 = 0, \text{ а } e^{\mu_{12}} \text{ определяется из (38).}$$

Будем искать трехсолитонное решение в виде

$$Q = 1 + \sum_{i=1}^3 e^{\tau_i+\mu_i} + \sum_{j>i}^3 e^{\tau_i+\tau_j+\mu_{ij}} + e^{\tau_1+\tau_2+\tau_3+\mu_{123}}, \tag{39}$$

где $q_3 = e^{\tau_1+\tau_2+\tau_3+\mu_{123}}$ определяется в силу (32).

Подставляя (38) в (32), найдем, что вследствие свойства оператора D и соотношения (30) члены, подобные $e^{2\tau_i+\tau_j}$, имеют нулевые коэффициенты и исключаются из правой части (32) кроме $e^{\tau_1+\tau_2+\tau_3}$. Коэффициент при $e^{\tau_1+\tau_2+\tau_3}$ строится из четырех взаимодействий и имеет вид

$$e^{\mu_{123}}\Phi(\mathbf{k}_1+\mathbf{k}_2+\mathbf{k}_3) + e^{\mu_1+\mu_{23}}\Phi(\mathbf{k}_1-\mathbf{k}_2-\mathbf{k}_3) + e^{\mu_2+\mu_{13}}\Phi(\mathbf{k}_2-\mathbf{k}_1-\mathbf{k}_3) + e^{\mu_3+\mu_{12}}\Phi(\mathbf{k}_3-\mathbf{k}_2-\mathbf{k}_1) = 0, \tag{39}$$

где $\mu_{ij}, i, j = 1, 2, 3, j > i$,

определяются из ранее найденной связи для двусолитонного решения

$$e^{\mu_{ij}} = -\frac{(r_i - r_j + (k_i - k_j)^3)(r_i - r_j - 2(k_i - k_j)^3)}{(r_i + r_j + (k_i + k_j)^3)(r_i + r_j - 2(k_i + k_j)^3)} e^{\mu_i + \mu_j} = -\frac{\Phi(\mathbf{k}_i - \mathbf{k}_j)}{\Phi(\mathbf{k}_i + \mathbf{k}_j)} e^{\mu_i + \mu_j}, \tag{40}$$

$$e^{\mu_{123}} = \frac{e^{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3}}{\Phi(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3)} \sum_{m=1, m \neq j \neq i}^3 \frac{\Phi(\mathbf{k}_i - \mathbf{k}_j)}{\Phi(\mathbf{k}_i + \mathbf{k}_j)} \Phi(\mathbf{k}_m - \mathbf{k}_i - \mathbf{k}_j). \quad (41)$$

Условие (41) весьма неудобно и трудно вычисляемо. Более ясная и удобная проверка предложена Ньюэллом [5]. Многочлены Хироты однородны в том смысле, что если переименовать переменные $\Phi(D_x, D_t, \dots, D_y) = \Phi(D_{t_1}, D_{t_3}, \dots, D_{t_{2n+1}})$ для каждой переменной $D_{t_{2n+1}}$ поставим в соответствии вес $2n + 1$, а D_{t_1} – вес 1 и будем складывать веса в произведениях, то каждый член в полиноме Хироты имеет один и тот же вес. В нашем случае $\Phi(D_x, D_t) = \Phi(D_{t_1}, D_{t_3})$ все слагаемые имеют вес равный шести.

Условием того, что (2) имеет трехсолитонное решение, является равенство нулю правой части выражения (33), для этого полиномы Хироты должны удовлетворять ряду свойств:

$$\Phi(D_t, D_x) = \Phi(-D_t, -D_x), \quad \Phi(0, 0) = 0.$$

Правая часть (33) имеет члены $e^{2\tau_1 + 2\tau_2}$, $e^{2\tau_1 + 2\tau_3}$, $e^{2\tau_2 + 2\tau_3}$, коэффициенты, при которых автоматически обратятся в нуль, а обращение в нуль коэффициентов при $e^{2\tau_1 + \tau_2 + \tau_3}$, $e^{\tau_1 + 2\tau_2 + \tau_3}$, $e^{\tau_1 + \tau_2 + 2\tau_3}$, (полученных от суммы произведений $e^{\tau_i + \tau_j + \tau_k} e^{\tau_i}$ и $e^{\tau_i + \tau_j} e^{\tau_i + \tau_k}$, $i \neq j \neq k = 1, 2, 3$) требует проверки, т.е. должны выполняться три равенства:

$$\Phi(\mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3) e^{\mu_1 + \mu_{123}} + \Phi(\mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_3) e^{\mu_{12} + \mu_{13}} = 0,$$

$$\Phi(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_3) e^{\mu_2 + \mu_{123}} + \Phi(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_3) e^{\mu_{12} + \mu_{23}} = 0,$$

$$\Phi(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2) e^{\mu_3 + \mu_{123}} + \Phi(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) e^{\mu_{13} + \mu_{23}} = 0.$$

Очевидно, достаточно проверить одно из равенств, так как они получаются с помощью циклической замены индексов. Распишем первое в расшифрованном виде

$$\frac{\Phi(\mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3)}{\Phi(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3)} \sum_{m=1, m \neq j > i}^3 \frac{\Phi(\mathbf{k}_i - \mathbf{k}_j)}{\Phi(\mathbf{k}_i + \mathbf{k}_j)} \Phi(\mathbf{k}_m - \mathbf{k}_i - \mathbf{k}_j) + \Phi(\mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_3) \frac{\Phi(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2)}{\Phi(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2)} \frac{\Phi(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_3)}{\Phi(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_3)} = 0$$

или избавившись от знаменателя

$$\sum_{m=1, m \neq j \neq i}^3 \Phi(\mathbf{k}_m + \mathbf{k}_j) \Phi(\mathbf{k}_m + \mathbf{k}_i) \Phi(\mathbf{k}_i - \mathbf{k}_j) \Phi(\mathbf{k}_m - \mathbf{k}_i - \mathbf{k}_j) + \Phi(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3) \prod_{i=1, j>i}^3 \Phi(\mathbf{k}_i - \mathbf{k}_j) = 0$$

В нашем случае это условие сводится к равенству

$$-6k_2k_3[k_2r_2 + k_3r_3 + 10k_3^3k_2 + 10k_3k_2^3] = 0,$$

которое при подстановки корней (36) тождественно не выполняется. Таким образом, уравнение (28) не имеет 3 – солитонного решения.

Результаты исследований и их обсуждение

Обсудим еще один вопрос о нахождении другого вида точного решения – автомодельного. Воспользуемся уже имеющейся системой (2) с действительными функциями $v(x, t)$ и $\omega(x, t)$. Проведем анализ, позволяющий сказать, существует автомодельное решение или нет. Решения существуют [6, 4], если растяжение независимых и зависимых переменных эквивалентно тождественному преобразованию. Анализ показал, построение автомодельного решения возможно, если положить

$$\xi = xt^{\frac{1}{3}}, \quad \omega(x, t) = t^{-\frac{2}{3}}\omega(\xi), \quad v(x, t) = t^{-\frac{2}{3}}v(\xi). \quad (42)$$

Подставив в исходную систему (2) новые переменные (42) получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений для функций $\omega(\xi)$, $v(\xi)$

$$\begin{aligned} 18vv' + 36\omega\omega' - 3v''' + 2v + \xi v' &= 0, \\ 6\omega''' + (\xi - 18v)\omega' + 2\omega' &= 0. \end{aligned} \quad (43)$$

Будем искать решение в виде степенных рядов с постоянными действительными коэффициентами

$$v = \sum_{j=\alpha}^{\infty} a_j \xi^j, \quad \omega = \sum_{j=\beta}^{\infty} b_j \xi^j. \quad (44)$$

Определим, какова должна быть степень α, β , чтобы система (43) замкнулась. Для этого подставим главные члены $v \sim a_{\alpha} \xi^{\alpha}$, $\omega \sim b_{\beta} \xi^{\beta}$ в систему (43)

$$\begin{aligned} 18\alpha a_{\alpha}^2 \xi^{2\alpha-1} - 3\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)a_{\alpha} \xi^{\alpha-3} + 36\beta b_{\beta}^2 \xi^{2\beta-1} + (\alpha+2)a_{\alpha} \xi^{\alpha} &= 0, \\ [6\beta(\beta-1)(\beta-2)\xi^{-3} - 18\beta a_{\alpha} \xi^{\alpha-1} + \beta+2]b_{\beta} \xi^{\beta} &= 0 \end{aligned}$$

и приравняем старшие степени, откуда определяются значения $\alpha = -2$, $\beta \geq -2$.

Рассмотрим предельный случай, когда $\beta = -2$, тогда старшие коэффициенты должны удовлетворять равенствам

$$a_{-2}^2 - 2a_{-2} + 2b_{-2}^2 = 0, \quad a_{-2}b_{-2} - 4b_{-2} = 0,$$

что при действительном коэффициенте $b_{-2} \neq 0$ невозможно, поэтому положим $b_{-2} = 0$, и будем искать решение в виде (44), при $\alpha = -2, \beta = -1$.

Выполним подстановку степенных рядов (44) в систему (43), которая распадается по степеням ζ начиная с ζ^{-5} и выше:

$$\zeta^{-5}: a_{-2}a_{-2} - 2a_{-2} = 0, \quad \Rightarrow a_{-2} = 2;$$

$$\zeta^{-4}: 3a_{-2}a_{-1} - a_{-1} = 0, \quad 2b_{-1} - b_{-1}a_{-2} = 0, \quad \Rightarrow$$

$a_{-1} = 0, b_{-1}$ – произвольный параметр;

$$\zeta^{-3}: 2a_{-2}a_0 + a_{-1}^2 + 2b_{-1}^2 = 0, \quad \Rightarrow a_0 = -\frac{1}{2}b_{-1}^2, b_0$$

– произвольный параметр;

$$\zeta^{-2}: a_{-2}a_1 + a_{-1}a_0 + 2b_{-1}b_0 = 0, \quad b_1a_{-2} - b_{-1}a_0 = 0, \quad \Rightarrow a_1 = -b_{-1}b_0, \quad b_1 = -\frac{1}{4}b_{-1}^3;$$

$$\zeta^{-1}: -18[b_1a_{-1} - b_{-1}a_1 + 2b_2a_{-2}] + b_{-1} = 0, \quad \Rightarrow b_2 = -\frac{1}{3 \cdot 4!}(18b_{-1}^2b_0 - b_{-1}), \quad a_2$$

– произвольный параметр;

$$\begin{aligned} \xi^n: 18 \sum_{j=-2}^{n+3} j a_j a_{n+1-j} + 36 \sum_{j=-1}^{n+2} j b_j b_{n+1-j} - 3(n+3)(n+2)(n+1)a_{n+3} + (2+n)a_n = 0, \\ 6(n+3)(n+2)(n+1)b_{n+3} - 18 \sum_{j=-2}^{n+2} (n+1-j)a_j b_{n+1-j} + (2+n)b_n = 0, \end{aligned} \quad (45)$$

определяет рекуррентную связь между коэффициентами

$$\begin{aligned} a_{n+3} &= \frac{1}{3(n^2-1)(n+6)} \left(18 \sum_{j=-1}^{n+2} j [a_j a_{n+1-j} + 2b_j b_{n+1-j}] + (2+n)a_n \right), \\ b_{n+3} &= \frac{1}{6(n+3)(n+4)(n-1)} \left(18 \sum_{j=-1}^{n+2} (n+1-j)a_j b_{n+1-j} - (2+n)b_n \right). \end{aligned} \quad (46)$$

Из формул (46) видно, что b_4, a_4 будут произвольными постоянными. Это легко проверить, выписав равенства (45) при $n = 1$.

ТЕОРЕМА. Уравнение (1) имеет решение в виде формального ряда

$$u(x, t) = \frac{2}{x^2} + i \frac{b_{-1}}{x\sqrt[3]{t}} + t^{-\frac{2}{3}} \sum_{j=0}^{\infty} (a_j + ib_j) x^j t^{-\frac{j}{3}},$$

где i – мнимая единица,
 $b_{-1}, b_0, a_2, b_4, a_4$, – произвольные действительные постоянные,

$$a_0 = -\frac{1}{2}b_{-1}^2, \quad b_1 = -\frac{1}{4}b_{-1}^3, \quad a_1 = -b_{-1}b_0, \quad b_2 = -\frac{1}{3 \cdot 4!}(18b_{-1}^2b_0 - b_{-1}),$$

остальные коэффициенты находятся по формулам (46).

Выводы

В статье развит метод Хироты применительно к комплекснозначному уравнению в частных производных третьего порядка.

1. Проведено преобразование уравнения в билинейную систему, имеющую квадратичный вид по зависимым переменным.
2. Построено односолитонное и двусолитонное решения.
3. Для построения двусолитонного решения предложен новый вид связи зависимых переменных.
4. Доказана невозможность построения трехсолитонного решения.
5. Построено автомодельное решение.

Библиографический список

1. Hirota R. Nonlinear partial difference equations V. Nonlinear equations reducible to linear equations / R. Hirota // J. Phys. Soc. Japan. 1979. V. 46. P. 312–319.
2. Hirota R. N-soliton of nonlinear network equations describing a Volterra system / R. Hirota // J. Phys. Soc. Japan. 1976. V. 40. P. 891–900.
3. Hirota R., Satsuma J. A variety of nonlinear network equations generated from the Backlund transformation for the Toda lattice / R. Hirota, J. Satsuma // Prog. Theoret. Phys. Suppl. 1976. V. 59. P. 64–100.

4. Новикова О.В. Автомодельные решения комплекснозначного нелинейного дифференциального уравнения в частных производных // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. Научный журнал. Ставрополь. 2014 г. №1 (40). С. 13–20.
5. Ньюэлл А. Солитоны в математике и физике. М.: Мир, 1989. 328 с.
6. Полянин А. Д. Методы решения нелинейных уравнений математической физики и механики / А.Д. Полянин, В.Ф. Зайцев, А.И. Журов. М.: Физматлит, 2005. 256 с.
7. Редькина Т.В. Некоторые свойства комплексификации уравнения Кортевега – де Вриза // Изв. АН СССР Сер. матем. 1991.

References

1. Hirota R. Nonlinear partial difference equations V. Nonlinear equations reducible to linear equations / R. Hirota // J. Phys. Soc. Japan. 1979. V. 46. P. 312–319.
2. Hirota R. N-soliton of nonlinear network equations describing a Volterra system / R. Hirota // J. Phys. Soc. Japan. 1976. V. 40. P. 891–900.
3. Hirota R., Satsuma J. A variety of nonlinear network equations generated from the Backlund transformation for the Toda lattice / R. Hirota, J. Satsuma // Prog. Theoret. Phys. Suppl. 1976. V. 59. P. 64–100.
4. Novikova O.V. Avtomodel'nye resheniya kompleksnoznachnogo neli-nejnogo differencial'nogo uravneniya v chastnyh proizvodnyh (Self-similar solutions of a complex-valued nonlinear partial differential equation)// Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. Nauchnyj zhurnal. Stavropol'. 2014 g. №1 (40). S. 13–20.
5. N'yuehll A. Solitony v matematike i fizike (Solitons in mathematics and physics). M.: Mir, 1989. 328 s.
6. Polyanin A.D. Metody resheniya nelinejnyh uravnenij matematicheskoj fiziki i mekhaniki (Methods for solving nonlinear equations of mathematical physics and mechanics) / A.D. Polyanin, V.F. Zajcev, A.I. ZHurov. M.: Fizmatlit, 2005. 256 s.
7. Red'kina T.V. Nekotorye svojstva kompleksifikacii uravneniya Kor-tevega – do Vriza (Some properties of the complexification of the Kortewegian-to Vries equation)//Izv. AN SSSR Ser. matem. 1991.

УДК 517.95

Яновская О.С. [Yanovskaya O.S.],
Сурнева О.Б. [Surneva O.B.]

НЕЛИНЕЙНОЕ УРАВНЕНИЕ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ, СВЯЗАННОЕ С ОПЕРАТОРОМ ДИРАКА

**Nonlinear equations in private derivatives,
related to the operator of Dirak**

Рассматривается теория нелинейных интегрируемых уравнений, обладающих солитонными решениями нового типа – опрокидывающимися солитонами. Исследуется операторная конструкция предложенная О.И. Богоявленским, и имеющая аттракторы в фазовом пространстве. Для вывода нового нелинейного уравнения используется операторная структура $L_t = [L, A] + P(L)$, расширяющая конструкцию Лакса, с L, A – дифференциальными операторами, $P(L)$ – полином 1-го порядка. В качестве оператора L рассматривается дифференциальный оператор Дирака первого рода. Определяются необходимые и достаточные условия, при которых операторное уравнение является условием совместности трех линейных дифференциальных уравнений: первое – является уравнением на собственные значения оператора L по пространственной переменной и спектральными значениями, параметрически зависящими от времени, второе – описывает динамику собственных функций оператора L по временной переменной, третье – определяет спектральную функцию. Показано, что спектральная функция может иметь орбиту – устойчивое подмногообразие или аттрактор.

Theory of integrable nonlinear equations possessing soliton solutions of a new type – tipper solitons. The operator examines the design proposed by O.I. Bogoyavlensky, and having attractors in the phase space. For output of a new nonlinear equation is used operator structure $L_t = [L, A] + P(L)$, that extends the design of lax, L, A – differential operators, $P(L)$ – polynomial 1-th order. As the operator L , one considers the differential Dirac operator of the first kind. Are defined by necessary and sufficient conditions under which the operator equation is the compatibility condition for the three linear differential equations: the first is the eigenvalue equation of the operator L on the space variables and the spectral values parametrically dependent on time, the second describes the dynamics of the eigenfunctions of the operator L in a temporary variable, and the third one defines the spectral function. It is shown that the spectral function can have an orbit – stable subvariety or attractor.

Ключевые слова: аттрактор, нелинейное уравнение в частных производных, оператор Дирака, спектральная функция, операторное уравнение, комплексная функция, полином.

Key words: attractor, nonlinear partial differential equation, Dirac operator, spectral function, operator equation, complex function, polynomial.

Для вывода уравнения используется операторная структура $L_t = [L, A] + P(L)$, с L, A – дифференциальными операторами, $P(L)$ – полином 1-го порядка. В качестве оператора L рассматривается дифференциальный оператор Дирака первого рода.

В последние годы существует множество направлений математической физики, связанных с динамическими моделями с аттракторами. Большое внимание физиков и математиков привлекают бесконечные решетчатые системы

[2, 5, 7]. Аттрактор является важным понятием для описания долгосрочного поведения решений для системы. Так Темам систематически изучал глобальный детерминированный аттрактор многих конкретных детерминированных автономных уравнений, возникающих в математической физике, Чепыжов и Вишик исследовали неавтономные уравнения. Глобальный случайный аттрактор был впервые изучен Рюэлем [6], а позднее Крауэлом, Дебусцем, Фландодем, Чмалфуссом, Имкеллекром, Лангом, Робинсоном и др. разработана теория случайных аттракторов [3, 4].

Большинство интегрируемых нелинейных уравнений в частных производных, имеющих решения солитонного типа, имеет представление Лакса с линейными операторами L и A , обладающие специальными свойствами. Рассмотрим алгебраическую конструкцию, расширяющую конструкцию Лакса [1], и, имеющую аттракторы в своем фазовом пространстве, представленную уравнением

$$L_t = [L, A] + P_n(L), \quad (1)$$

где L, A – дифференциальные операторы по переменной x , не содержащие дифференцирования по переменной t , $[L, A] = LA - AL$, $P_n(L)$ – полином n -го порядка.

Уравнение (1.1) является условием совместности следующей системы

$$L\psi = \lambda(t)\psi, \quad (2)$$

$$\psi_t = -A\psi, \quad (3)$$

$$\lambda'(t) = P_n(\lambda(t)), \quad (4)$$

где $\psi(x, t, \lambda)$ – собственная функция оператора L ,
 $\lambda(t)$ – спектральная функция параметрически зависит от t , для которой с учетом (2) выполняется свойство

$$P_n(L)\psi = P_n(\lambda)\psi.$$

Будем использовать в качестве оператора L оператор Дирака, который имеет две канонические формы:

$$L_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} q_1(x, t) & 0 \\ 0 & q_2(x, t) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$\text{и} \quad L_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} q_1(x,t) & q_2(x,t) \\ q_2(x,t) & -q_1(x,t) \end{pmatrix} \quad (6)$$

$q_1(x,t), q_2(x,t)$ – произвольные функции двух независимых переменных.

Так как операторы (5), (6), подлежащие рассмотрению в качестве одного из коммутационных членов равенства (1), имеют матричные коэффициенты 2×2 , то формально записанная система (2) – (4), из которой возникает условие совместности (1), должна быть уточнена. Выполним преобразование системы (2) – (4), и определим дополнительные условия необходимые для перехода от (2) – (4) к (1.1). Продифференцируем уравнение на собственные значения (2) по переменной t

$$L_t \psi + L \psi_t = \lambda'(t) \psi + \lambda(t) \psi_t,$$

выполним подстановку значений производных из (1.3), (1.4), тогда

$$L_t \psi = L A \psi + P_n(\lambda(t)) \psi - \lambda(t) A \psi. \quad (7)$$

Для получения (1) из (7) необходимо выполнение условий:

$$P_n(\lambda(t)) \psi = P_n(\lambda(t)) \psi = P_n(L \psi) = P_n(L) \psi, \quad (8)$$

$$\lambda(t) A \psi = A \lambda(t) \psi. \quad (9)$$

Очевидно, что (8) и (9) выполняется тождественно, если многочлен $P_n(\cdot)$ имеет числовые коэффициенты, а $\lambda(t)$ – функция одной переменной, но если полином $P_n(\cdot)$ имеет матричные коэффициенты и $\lambda(t)$ – матричная функция, то коммутации (8), (9) имеют место только при их определенных структурах. Задание более конкретного структурного содержания элементов $P_n(\cdot)$ и $\lambda(t)$ зависит от степени полинома и вида оператора A . Проведем такой анализ для некоторых частных случаев.

Рассмотрим первый вид канонической структуры оператора L – (5), пусть A имеет следующий дифференциальный вид первого порядка:

$$A = \begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} P_{11}(x,t) & P_{12}(x,t) \\ P_{21}(x,t) & P_{22}(x,t) \end{pmatrix}, \quad (10)$$

где N_{ij} – произвольные постоянные,
 $P_{ij}(x,t)$ – неизвестные функции двух переменных ($i, j = 1, 2$).

В качестве многочлена $P_n(\cdot)$ рассмотрим наиболее простой линейный вид

$$P_1(L_1) = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{pmatrix} L_1 + \begin{pmatrix} b_1 & b_2 \\ b_3 & b_4 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

$a_i(t), b_i(t), (i = 1, 2, 3, 4)$ – функции, зависящие параметрически от t , вид которых можно доопределить в ходе дальнейших преобразований.

Зададим собственные значения (2) в виде матричной функции

$$\lambda(t) = \begin{pmatrix} \lambda_{11}(t) & \lambda_{12}(t) \\ \lambda_{21}(t) & \lambda_{22}(t) \end{pmatrix}. \quad (12)$$

ЛЕММА 1. *Для того чтобы $A, P_1(L_1), \lambda(t)$ вида (10), (11), (12) тождественно удовлетворяли формулам (8), (9), и обеспечивали совместность системы (2) – (4), необходимо выполнение равенств:*

$$\begin{aligned} \lambda_{12}N_{21} &= \lambda_{21}N_{12}, & \lambda_{21}[N_{11} - N_{22}] &= (\lambda_{11} - \lambda_{22})N_{21}, \\ (\lambda_{11} - \lambda_{22})N_{12} &= \lambda_{12}[N_{11} - N_{22}], & \lambda_{21}[P_{11} - P_{22}] &= (\lambda_{11} - \lambda_{22})P_{21}, \\ (\lambda_{11} - \lambda_{22})P_{12} &= \lambda_{12}[P_{11} - P_{22}], & \lambda_{12}P_{21} &= \lambda_{21}P_{12}. \end{aligned} \quad (13)$$

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО.

Проведем доказательство, записав собственную функцию

$$\psi(x, t, \lambda) = \begin{pmatrix} \psi_1(x, t, \lambda) \\ \psi_2(x, t, \lambda) \end{pmatrix},$$

как функциональный вектор – столбец.

Проверим выполнение равенства (8) для $n = 1$, выпишем вид левой части (8)

$$P_1(\lambda(t))\psi = \begin{pmatrix} a_1(\lambda_{11}\psi_1 + \lambda_{12}\psi_2) + a_2(\lambda_{21}\psi_1 + \lambda_{22}\psi_2) + b_1\psi_1 + b_2\psi_2 \\ a_3(\lambda_{11}\psi_1 + \lambda_{12}\psi_2) + a_4(\lambda_{21}\psi_1 + \lambda_{22}\psi_2) + b_3\psi_1 + b_4\psi_2 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

в силу уравнения, на собственные значения (2):

$$\begin{aligned} \psi_{2x} + q_1\psi_1 &= \lambda_{11}\psi_1 + \lambda_{12}\psi_2, \\ -\psi_{1x} + q_2\psi_2 &= \lambda_{21}\psi_1 + \lambda_{22}\psi_2, \end{aligned}$$

выполним последовательную замену в векторной записи (14), в результате получим вектор совпадающий с правой частью (8)

$$\begin{pmatrix} a_1(\psi_{2x} + q_1\psi_1) + a_2(-\psi_{1x} + q_2\psi_2) + b_1\psi_1 + b_2\psi_2 \\ a_3(\psi_{2x} + q_1\psi_1) + a_4(-\psi_{1x} + q_2\psi_2) + b_3\psi_1 + b_4\psi_2 \end{pmatrix} = P_1(L_1)\psi.$$

Как видно из выполненного преобразования, никаких дополнительных условий накладывать на вид полинома не надо.

Рассмотрим теперь равенство (9), выполним действия в левой и правой частях с выбранными элементами (10) и (12)

$$\begin{aligned} & \lambda_{11}(N_{11}\psi_{1x} + N_{12}\psi_{2x} + P_{11}\psi_1 + P_{12}\psi_2) + \lambda_{12}(N_{21}\psi_{1x} + N_{22}\psi_{2x} + P_{21}\psi_1 + P_{22}\psi_2) = \\ & = N_{11}(\lambda_{11}\psi_{1x} + \lambda_{12}\psi_{2x}) + N_{12}(\lambda_{21}\psi_{1x} + \lambda_{22}\psi_{2x}) + P_{11}(\lambda_{11}\psi_1 + \lambda_{12}\psi_2) + P_{12}(\lambda_{21}\psi_1 + \lambda_{22}\psi_2), \\ & \lambda_{21}(N_{11}\psi_{1x} + N_{12}\psi_{2x} + P_{11}\psi_1 + P_{12}\psi_2) + \lambda_{22}(N_{21}\psi_{1x} + N_{22}\psi_{2x} + P_{21}\psi_1 + P_{22}\psi_2) = \\ & = N_{21}(\lambda_{11}\psi_{1x} + \lambda_{12}\psi_{2x}) + N_{22}(\lambda_{21}\psi_{1x} + \lambda_{22}\psi_{2x}) + P_{21}(\lambda_{11}\psi_1 + \lambda_{12}\psi_2) + P_{22}(\lambda_{21}\psi_1 + \lambda_{22}\psi_2), \end{aligned}$$

или в виде системы на коэффициенты при различных ψ_j :

$$\begin{aligned} \lambda_{12}N_{21} &= \lambda_{21}N_{12}, & \lambda_{21}[N_{11} - N_{22}] &= (\lambda_{11} - \lambda_{22})N_{21}, \\ (\lambda_{11} - \lambda_{22})N_{12} &= \lambda_{12}[N_{11} - N_{22}], & \lambda_{21}[P_{11} - P_{22}] &= (\lambda_{11} - \lambda_{22})P_{21}, \\ (\lambda_{11} - \lambda_{22})P_{12} &= \lambda_{12}[P_{11} - P_{22}], & \lambda_{12}P_{21} &= \lambda_{21}P_{12}. \end{aligned}$$

Определим условия, при которых операторное уравнение (1) не будет содержать операторов дифференцирования.

ЛЕММА 2. *Для того чтобы операторное уравнение (1) не содержало операторов дифференцирования необходимо и достаточно, чтобы произвольные параметры оператора (10) и многочлена (11) удовлетворяли условиям:*

$$N_{12} = -N_{21}, N_{22} = N_{11}, a_2 = a_3 = \alpha(t), a_1 = -a_4 = \beta(t) \quad (15)$$

$$P_{21} = \alpha(t) - P_{12}, P_{22} = P_{11} - N_{21}(q_2 - q_1) + \beta(t), \quad (16)$$

где $\beta(t)$ – произвольные функции.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО.

Для получения необходимых условий, используя вид операторов (5), (10), (11), выполним их подстановку в правую часть уравнения (1):

$$\begin{aligned}
[L_1, A] + P_1(L_1) &= \left\{ \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{pmatrix} \right\} \left[\begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{pmatrix} \right] - \\
&\quad - \left[\begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{pmatrix} \right] \left\{ \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{pmatrix} \right\} + \\
&\quad + \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 & b_2 \\ b_3 & b_4 \end{pmatrix} = \\
&= \begin{pmatrix} N_{21} & N_{22} \\ -N_{11} & -N_{12} \end{pmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \begin{pmatrix} P_{21x} & P_{22x} \\ -P_{11x} & -P_{12x} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} P_{21} & P_{22} \\ -P_{11} & -P_{12} \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} N_{11}q_1 & N_{12}q_1 \\ N_{21}q_2 & N_{22}q_2 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \\
&+ \begin{pmatrix} P_{11}q_1 & P_{12}q_1 \\ P_{21}q_2 & P_{22}q_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -N_{12} & N_{11} \\ -N_{22} & N_{21} \end{pmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \begin{pmatrix} N_{11}q_1 & N_{12}q_2 \\ N_{21}q_1 & N_{22}q_2 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} - \begin{pmatrix} N_{11}q_{1x} & N_{12}q_{2x} \\ N_{21}q_{1x} & N_{22}q_{2x} \end{pmatrix} - \\
&- \begin{pmatrix} -P_{12} & P_{11} \\ -P_{22} & P_{21} \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} - \begin{pmatrix} P_{11}q_1 & P_{12}q_2 \\ P_{21}q_1 & P_{22}q_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -a_2 & a_1 \\ -a_4 & a_3 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} a_1q_1 & a_2q_2 \\ a_3q_1 & a_4q_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 & b_2 \\ b_3 & b_4 \end{pmatrix} =
\end{aligned}$$

(выполним действия операторов и сгруппируем члены с $\frac{\partial}{\partial x}$, $\frac{\partial^2}{\partial x^2}$)

$$\begin{aligned}
&= \begin{pmatrix} N_{21} + N_{12} & N_{22} - N_{11} \\ -N_{11} + N_{22} & -N_{12} - N_{21} \end{pmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \\
&\quad \left(\begin{array}{cc} P_{21} + P_{12} - a_2 & P_{22} + N_{12}[q_1 - q_2] - P_{11} + a_1 \\ P_{22} - P_{11} + N_{21}[q_2 - q_1] - a_4 & a_3 - P_{12} - P_{21} \end{array} \right) \frac{\partial}{\partial x} + \quad (17) \\
&\quad + \begin{pmatrix} P_{21x} - N_{11}q_{1x} + a_1q_1 + b_1 & P_{22x} + P_{12}q_1 - N_{12}q_{2x} + (a_2 - P_{12})q_2 + b_2 \\ b_3 - P_{11x} + P_{21}q_2 - N_{21}q_{1x} + (a_3 - P_{21})q_1 & -P_{12x} - N_{22}q_{2x} + a_4q_2 + b_4 \end{pmatrix}.
\end{aligned}$$

Коэффициенты при $\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ и $\frac{\partial}{\partial x}$ должны обнулиться, поэтому приравняем матрицы при операторах нулю, получаем систему:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2}{\partial x^2} : \begin{cases} N_{21} + N_{12} = 0, \\ N_{22} - N_{11} = 0, \end{cases} &\Leftrightarrow \begin{cases} N_{12} = -N_{21}, \\ N_{22} = N_{11}. \end{cases} \quad (18) \\
\frac{\partial}{\partial x} : \begin{cases} P_{21} + P_{12} - a_2 = 0, \\ -P_{12} - P_{21} + a_3 = 0, \\ P_{22} - P_{11} + N_{21}(q_2 - q_1) - a_4 = 0, \\ P_{22} - P_{11} + N_{12}(q_1 - q_2) + a_1 = 0, \end{cases}
\end{aligned}$$

в силу (18) получаем следующие ограничения

$$a_2 = a_3 = \alpha(t), \quad P_{12} = \alpha(t) - P_{21}, \quad a_1 = -a_4 = \beta(t), \quad P_{22} = P_{11} - N_{21}(q_2 - q_1) + \beta(t).$$

В результате получены условия леммы.

Достаточное условие доказывается простой проверкой.

Продолжим рассмотрение оставшейся отличной от нуля матрицы в сумме (17) не содержащей операторов дифференцирования, приравняем ее правой части уравнения (1), т. е.

$$\begin{pmatrix} q_{1t}(x,t) & 0 \\ 0 & q_{2t}(x,t) \end{pmatrix}$$

в результате получаем систему из четырех уравнений:

$$\begin{aligned} P_{21x} - N_{11}q_{1x} + a_1q_1 + b_1 &= q_{1t}, \\ P_{22x} + P_{12}q_1 - N_{12}q_{2x} + (a_2 - P_{12})q_2 + b_2 &= 0, \\ b_3 - P_{11x} + P_{21}q_2 - N_{21}q_{1x} + (a_3 - P_{21})q_1 &= 0, \\ b_4 - P_{12x} - N_{22}q_{2x} + a_4q_2 &= q_{2t}. \end{aligned}$$

После подстановки ранее определенных значений (15), (16) получим связь:

$$\begin{aligned} -P_{12x} - N_{11}q_{1x} + \beta q_1 + b_1 &= q_{1t}, \\ P_{11x} - N_{12}q_{1x} + P_{12}[q_1 - q_2] + \alpha q_2 + b_2 &= 0, \\ b_3 - (P_{11x} - N_{12}q_{1x}) + P_{12}[q_1 - q_2] + \alpha q_2 &= 0, \\ b_4 - P_{12x} - N_{11}q_{2x} - \beta q_2 &= q_{2t}. \end{aligned} \quad (19)$$

Второе и третье равенство выполняется тождественно, если положить

$$P_{11} = N_{12}q_1, \quad P_{12} = -\frac{\alpha q_2 + b_2}{q_1 - q_2}, \quad b_2 = b_3 = \gamma(t), \quad (20)$$

при интегрировании постоянная интегрирования положена равной нулю. Оставшиеся два равенства (19) с учетом (20) преобразуются к виду

$$\begin{aligned} \left(\frac{\alpha q_2 + \gamma}{q_1 - q_2}\right)_x - N_{11}q_{1x} + \beta q_1 + b_1 &= q_{1t}, \\ \left(\frac{\alpha q_2 + \gamma}{q_1 - q_2}\right)_x - N_{11}q_{2x} - \beta q_2 + b_4 &= q_{2t}. \end{aligned}$$

Очевидно, с учетом того, что $\alpha(t)$ не зависит от переменной x , в первом равенстве можно сделать следующие преобразования:

$$\left(\frac{\alpha q_2 + \gamma(t)}{q_1 - q_2}\right)_x = \left(\frac{\alpha q_2 - \alpha q_1 + \alpha q_1 + \gamma(t)}{q_1 - q_2}\right)_x = \left(\frac{\alpha q_1 + \gamma(t)}{q_1 - q_2} - \alpha\right)_x = \left(\frac{\alpha q_1 + \gamma(t)}{q_1 - q_2}\right)_x$$

тогда окончательно система примет вид ($N_{11} = k - const$)

$$\begin{aligned} \left(\frac{\alpha q_1 + \gamma}{q_1 - q_2}\right)_x - kq_{1x} + \beta q_1 + b_1 &= q_{1t}, \\ \left(\frac{\alpha q_2 + \gamma}{q_1 - q_2}\right)_x - kq_{2x} - \beta q_2 + b_4 &= q_{2t}. \end{aligned} \quad (21)$$

Выпишем уточненные коэффициенты оператора A :

$$\begin{aligned} N_{12} &= -N_{21}, \quad N_{22} = N_{11} = k, \quad P_{11} = N_{12}q_1, \quad P_{12} = -\frac{\alpha q_2 + \gamma}{q_1 - q_2}, \\ P_{21} &= \frac{\alpha q_1 + \gamma}{q_1 - q_2}, \quad P_{22} = N_{12}q_2 + \beta(t), \end{aligned} \quad (22)$$

$\alpha(t), \beta(t), \gamma(t), b_1(t), b_4(t)$ – произвольные функции, k – произвольная постоянная. Соотнеся полученные значения с системой (21) можно сделать вывод, что постоянные N_{12}, N_{21} никак не влияют на вид последней системы, как и функции P_{11}, P_{22} в которые они входят, поэтому в дальнейшем будем полагать

$$N_{12} = 0, \quad N_{21} = 0. \quad (23)$$

Посмотрим, не противоречат ли полученные значения (22) выдвинутым условиям леммы 1, подставим в (13) значения (22), (23)

$$\begin{aligned} \lambda_{21}\beta(t) &= (\lambda_{22} - \lambda_{11})\frac{\alpha q_1 + \gamma}{q_1 - q_2}, \\ \frac{\alpha q_2 + \gamma}{q_1 - q_2}(\lambda_{11} - \lambda_{22}) &= \lambda_{12}\beta(t), \\ \lambda_{12}(\alpha q_1 + \gamma) &= -\lambda_{21}(\alpha q_2 + \gamma). \end{aligned} \quad (24)$$

При произвольных функциях $q_1(x, t), q_2(x, t)$, зависящих от переменной x , зависимость от которой отсутствует во всех остальных функциях, входящих в равенства (24) приводит к необходимости положить

$$\lambda_{21} = 0, \quad \lambda_{11}(t) = \lambda_{22}(t), \quad \lambda_{12} = 0. \quad (25)$$

Определим динамику собственных значений оператора L , используя уравнение (4), дающее линейную неоднородную дифференциальную систему с переменными коэффициентами

$$\begin{aligned} \lambda'_{11} &= a_1(t)\lambda_{11} + a_2(t)\lambda_{21} + b_1(t), \quad \lambda'_{12} = a_1(t)\lambda_{12} + a_2(t)\lambda_{22} + b_2(t), \\ \lambda'_{21} &= a_3(t)\lambda_{11} + a_4(t)\lambda_{21} + b_3(t), \quad \lambda'_{22} = a_3(t)\lambda_{12} + a_4(t)\lambda_{22} + b_4(t). \end{aligned}$$

С учетом (15), (20) она переписывается в виде

$$\begin{aligned}\lambda'_{11} &= \beta(t)\lambda_{11} + \alpha(t)\lambda_{21} + b_1(t), & \lambda'_{12} &= \beta(t)\lambda_{12} + \alpha(t)\lambda_{22} + \gamma(t), \\ \lambda'_{21} &= \alpha(t)\lambda_{11} - \beta(t)\lambda_{21} + \gamma(t), & \lambda'_{22} &= \alpha(t)\lambda_{12} - \beta(t)\lambda_{22} + b_4(t).\end{aligned}$$

Дополнительные требования (25) приводят ее к виду

$$\lambda'_{11} = \beta(t)\lambda_{11} + b_1(t), \quad \lambda'_{11} = -\beta(t)\lambda_{11} + b_4(t), \quad \alpha(t)\lambda_{11} + \gamma(t) = 0.$$

Доопределим функции так, чтобы оставшаяся система стала совместной

$$\lambda_{11} = -\frac{\gamma(t)}{\alpha(t)}, \quad \left(\frac{\gamma(t)}{\alpha(t)}\right)' = \beta(t)\frac{\gamma(t)}{\alpha(t)} - b_1(t), \quad -\left(\frac{\gamma(t)}{\alpha(t)}\right)' = \beta(t)\frac{\gamma(t)}{\alpha(t)} + b_4(t). \quad (26)$$

Очевидно,

$$b_1(t) = 2\beta(t)\frac{\gamma(t)}{\alpha(t)} + b_4(t), \quad (27)$$

тогда из системы (26) остается одно дифференциальное равенство

$$\left(\frac{\gamma(t)}{\alpha(t)}\right)' = -\beta(t)\frac{\gamma(t)}{\alpha(t)} - b_4(t),$$

решение, которого находится в интегральном виде

$$\gamma(t) = \alpha(t)e^{-\int\beta(t)dt} \left(C - \int e^{\int\beta(t)dt} b_4(t) dt \right). \quad (28)$$

В результате найден вид функции

$$b_1(t) = 2\beta(t)e^{-\int\beta(t)dt} \left(C - \int e^{\int\beta(t)dt} b_4(t) dt \right) + b_4(t), \quad (29)$$

где $b_4(t)$, $\beta(t)$, $\alpha(t)$ – произвольные функции.

Обобщим полученный результат.

ЛЕММА 3. *Спектральное значение уравнения на собственные значения (2) имеет диагональную структуру*

$$\lambda(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} e^{-\int\beta(t)dt} \left(\int e^{\int\beta(t)dt} b_4(t) dt + C \right), \quad (30)$$

где $b_4(t)$, $\beta(t)$ – произвольные функции, C – произвольная постоянная.

ТЕОРЕМА 1. Система (21) на функции $q_1(x,t)$, $q_2(x,t)$ эквивалентна операторному уравнению (1) с операторами вида

$$A = \begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & k \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} 0 & \frac{\alpha q_2 + \gamma}{q_2 - q_1} \\ \frac{\alpha q_1 + \gamma}{q_1 - q_2} & \beta(t) \end{pmatrix},$$

$$L_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} q_1(x,t) & 0 \\ 0 & q_2(x,t) \end{pmatrix}$$

и полиномом первого порядка

$$P_1(L_1) = \begin{pmatrix} \beta & \alpha \\ \alpha & -\beta \end{pmatrix} L_1 + \begin{pmatrix} 2\beta \frac{\gamma}{\alpha} + b_4 & \gamma \\ \gamma & b_4 \end{pmatrix}, \quad (31)$$

где k – произвольная постоянная, $b_4(t)$, $\beta(t)$, $\alpha(t)$ – произвольные функции, остальные элементы определяются из (28), (29).

Систему (21) можно свести к одному уравнению на комплексную функцию предположив, что действительные функции $q_1(x,t)$, $q_2(x,t)$, $q_2(x,t)$ являются частями комплексной функции $p(x,t)$

$$q_1 = \operatorname{Re} p(x,t), \quad q_2 = \operatorname{Im} p(x,t), \quad (32)$$

умножим второе равенство на i и сложим полученные равенства

$$\left(\frac{\alpha p + \gamma(1+i)}{\operatorname{Re} p - \operatorname{Im} p} \right)_x - kp_x + \beta \bar{p} + b_1 + ib_4 = p_t, \quad (33)$$

i – мнимая единица, черта обозначает комплексное сопряжение

СЛЕДСТВИЕ 1. Уравнение (33) на комплексную функцию $p(x,t)$ эквивалентно операторному уравнению (1) с операторами вида

$$L_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} \operatorname{Re} p(x,t) & 0 \\ 0 & \operatorname{Im} p(x,t) \end{pmatrix},$$

$$A = \begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & k \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \begin{pmatrix} 0 & \frac{\alpha \operatorname{Im} p + \gamma}{\operatorname{Im} p - \operatorname{Re} p} \\ \frac{\alpha \operatorname{Re} p + \gamma}{\operatorname{Re} p - \operatorname{Im} p} & \beta(t) \end{pmatrix},$$

и полиномом первого порядка (31), где k – действительная произвольная постоянная, $b_4(t)$, $\beta(t)$, $\alpha(t)$ – произвольные действительные функции, остальные элементы определяются из (28), (29).

Сведем систему (21) к уравнению второго порядка на одну функцию. Для этого сложим и вычтем почленно эти уравнения

$$\left(\frac{\alpha(q_1 + q_2) + 2\gamma}{q_1 - q_2} \right)_x - k(q_1 + q_2)_x + \beta(q_1 - q_2) + 2\beta \frac{\gamma}{\alpha} + 2b_4 = (q_1 + q_2)_t,$$

$$\beta(q_1 + q_2) - k(q_1 - q_2)_x + 2\beta \frac{\gamma}{\alpha} = (q_1 - q_2)_t.$$

Используя замену старых функций на новые

$$q_1 + q_2 = u(x, t), \quad q_1 - q_2 = v(x, t),$$

система принимает вид (для упрощения приведения подобных использовалась связь между параметрическими функциями (27))

$$\alpha \left(\frac{u}{v} \right)_x + \left(\frac{2\gamma}{v} \right)_x - ku_x + \beta v + 2\beta \frac{\gamma}{\alpha} + 2b_4 = u_t, \quad (34)$$

$$\beta u - kv_x + 2\beta \frac{\gamma}{\alpha} = v_t.$$

Из второго равенства функция $u(x, t)$ в явном виде определяется через производные функции $v(x, t)$ ($\beta \neq 0$)

$$u = \frac{1}{\beta} [v_t + kv_x] - 2 \frac{\gamma}{\alpha}. \quad (35)$$

Подставим (35) в первое уравнение системы (1.34), тогда с учетом, что $\beta\gamma/\alpha$ – зависит только от t , получаем

$$\frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{v_t + kv_x}{v} \right)_x - \frac{k}{\beta} [v_t + kv_x]_x + \beta v + 2\beta \frac{\gamma}{\alpha} + 2b_4 = \frac{1}{\beta} [v_t + kv_x]_t - 2 \left(\frac{\gamma}{\alpha} \right)'$$

Так как $\left(\frac{\gamma(t)}{\alpha(t)} \right)' = -\beta(t) \frac{\gamma(t)}{\alpha(t)} - b_4(t)$, то имеем

$$\alpha \left(\frac{v_t + kv_x}{v} \right)_x - k [v_t + kv_x]_x + \beta^2 v = [v_t + kv_x]_t. \quad (36)$$

СЛЕДСТВИЕ 2. Уравнение (36) на функцию $v(x, t)$ эквивалентно операторному уравнению (1) с операторами вида

$$L_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \frac{1}{\beta} [v_t + kv_x] + v - 2\frac{\gamma}{\alpha} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\beta} [v_t + kv_x] - v - 2\frac{\gamma}{\alpha} \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & k \end{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\alpha}{2\beta} \begin{pmatrix} 0 & \frac{v_t + kv_x}{v} - \beta \\ \frac{v_t + kv_x}{v} + \beta & 2\frac{\beta^2}{\alpha}(t) \end{pmatrix},$$

и полиномом первого порядка

$$P_1(L_1) = \begin{pmatrix} \beta & \alpha \\ \alpha & -\beta \end{pmatrix} L_1 + \begin{pmatrix} 2\beta\frac{\gamma}{\alpha} + b_4 & \gamma \\ \gamma & b_4 \end{pmatrix},$$

где k – произвольная постоянная, $b_4(t)$, $\beta(t)$, $\alpha(t)$ – произвольные функции, остальные элементы определяются из (28), (29).

Легко заметить, что в последнем равенстве выделилась комбинация производных $v_t + kv_x$, для компактности записи можно ввести замену на комбинированную переменную z , такую что $\frac{\partial}{\partial t} + k\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z}$, тогда уравнение примет вид

$$\alpha \left(\frac{v_z}{v} \right)_x - v_{zz} + \beta^2 v = 0, \quad (37)$$

или уравнение с кубической нелинейностью

$$\alpha [vv_{zx} - v_x v_z] + (\beta^2 v - v_{zz}) v^2 = 0. \quad (38)$$

Сведем (37) к уравнению с показательной нелинейностью с помощью замены $v(x, t) = e^{p(x, t)}$

$$\alpha p_{xz} - e^p [\beta^2 - p_z^2 - p_{zz}] = 0. \quad (39)$$

Собственные значения оператора L_1 представляют функции времени

$$\lambda_{11}(t) = \lambda_{22}(t) = e^{-\int \beta(t) dt} \left(C + \int e^{\int \beta(t) dt} b_4(t) dt \right),$$

зависящие от двух произвольных функций $\beta(t)$, $b_4(t)$ и удовлетворяют линейному уравнению

$$\dot{\lambda}_{nn}(t) = b_4(t) - \beta(t)\lambda_{nn}, \quad n = 1, 2. \quad (40)$$

Правая часть (40) может иметь нули

$$b_4(t) - \beta(t)\lambda_{nn} = 0$$

$$\lambda_{nn}^* = \frac{b_4(t)}{\beta(t)} = \text{const},$$

тогда простейшие решения являются стационарными

$$\lambda(t) = \lambda_{nn}^*.$$

Если $b_4'(t) - \beta'(t)\lambda_{nn}^* < 0$, то λ_{nn}^* – притягивающая точка, при $b_4'(t) - \beta'(t)\lambda_{nn}^* > 0$, λ_{nn}^* – отталкивающая точка. В ходе эволюции собственные функции $\lambda(t)$ будут стремиться от одних стационарных значений к другим. Вся матрица $\lambda(t)$ собственных значений соответственно стремится к инвариантному подмногообразию (к корням уравнения $b_4(t) - \beta(t)\lambda_{nn} = 0$) – орбите, т.е. возникает уравнение с аттракторами. Орбита – устойчивое подмногообразие или аттрактор уравнения, если все λ_{nn}^* удовлетворяют неравенству $b_4'(t) - \beta'(t)\lambda_{nn}^* < 0$. Комбинации притягивающих значений дают все аттракторы, поэтому из многообразий с отталкивающимися λ_{nn} , через многообразия где есть и притягивающие и отталкивающие точки к многообразиям с притягивающими λ_{nn} . Траектории при этом наматываются на притягивающие многообразия.

Несмотря на то, что у таких уравнений есть аттракторы, они имеют первые интегралы вида

$$\lambda(t)e^{\int \beta(t) dt} - \int e^{\int \beta(t) dt} b_4(t) dt = C.$$

Библиографический список

1. Богдавленский О.И. Опрокидывающиеся солитоны в новых двумерных интегрируемых уравнениях // Изв. АН СССР Сер. матем. 1989. Т. 53, №2. С. 243–258.
2. Bates P. W., Lu K., Wang B. Attractors for lattice dynamical systems // International Journal of Bifurcation and Chaos. 2001. Т. 11. №1. С. 143–153.
3. Crauel H. Random point attractors versus random set attractors // Journal of the London Mathematical Society. 2001. Т. 63. №02. С. 413–427.
4. Crauel H., Flandoli F. Attractors for random dynamical systems // Probability Theory and Related Fields. 1994. Т. 100. №3. С. 365–393.

5. Karachalios N. I., Yannacopoulos A. N. Global existence and compact attractors for the discrete nonlinear Schrödinger equation // *Journal of Differential Equations*. 2005. T. 217. № 1. С. 88–123.
6. Ruelle D. Characteristic exponents for a viscous fluid subjected to time dependent forces // *Communications in Mathematical Physics*. 1984. T. 93. №3. С. 285–300.
7. Zhou S., Shi W. Attractors and dimension of dissipative lattice systems // *Journal of Differential Equations*. 2006. T. 224. №1. С. 172–204.

References

1. Bogoyavlensky O.I. Oprokidyvayushchiesya solitony v novykh dvumernykh integriruemyykh uravneniyah (Overturning solitons in new two-dimensional integrable equations), *Izv. AN SSSR Ser. Math.* 1989. T. 53, №2. P. 243–258.
2. Bates P.W., Lu K., Wang B. Attractions for lattice dynamical systems. *International Journal of Bifurcation and Chaos*. 2001. T. 11. №1. P. 143–153.
3. Crauel H. Random point attractors versus random set attractors // *Journal of the London Mathematical Society*. 2001. T. 63. №2. P. 413–427.
4. Crauel H., Flandoli F. Attractors for random dynamical systems // *Probability Theory and Related Fields*. 1994. T. 100. №3. P. 365–393.
5. Karachalios N.I., Yannacopoulos A.N. Global existence and compact attractors for the discrete nonlinear Schrödinger equation // *Journal of Differential Equations*. 2005. T. 217. №1. P. 88–123.
6. Ruelle D. Characteristic exponents for a viscous fluid subjected to time dependent forces // *Communications in Mathematical Physics*. 1984. T. 93. №3. P. 285–300.
7. Zhou S., Shi W. Attractors and dimension of dissipative lattice systems. *Journal of Differential Equations*. 2006. T. 224. №1. P. 172–204.

УДК 528.88

Антонов С.А. [Antonov S.A.]
Скрипчинский А.В. [Skripchinskii A.V.]

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА ЗА СОСТОЯНИЕМ АГРОЛАНДШАФТОВ

Use of remote sensing data for long-term monitoring of agricultural landscapes

В статье представлен анализ совместного использования данных со спутников Landsat 8 и Sentinel 2 для проведения многолетних наблюдений за состоянием растительности агроландшафтов, на примере территории Георгиевского района Ставропольского края. Рассмотрены особенности проведения коррекции данных с указанных спутников для оценки состояния растительности. На основании статистического анализа вегетационного индекса (NDVI), полученного по данным спутников Landsat 8 и Sentinel 2, выявлена идентичность статистических показателей. Доказана возможность проведения многолетних спутниковых наблюдений за состоянием растительности по данным спутников Landsat 8 и Sentinel 2A путем расчета вегетационного индекса (NDVI) на основе снимков с геометрической и радиометрической коррекцией.

The article presents an analysis of the joint use of data from the Landsat 8 and Sentinel 2 satellites to form long-term monitoring of agricultural landscape vegetation using example of the Georgievsky district in Stavropol Region. The features of the satellite data correction to assess the state of vegetation are considered. The statistical analysis of the vegetation index (NDVI) obtained from the data of Landsat 8 and Sentinel 2 satellites revealed the identity of statistical indicators. The possibility of long-term satellite monitoring of vegetation health from Landsat 8 and Sentinel 2A satellites by calculating the vegetation index (NDVI) is established and statically proven on the basis of images with geometric and radiometric correction.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, уровни обработки, вегетационный индекс, агроландшафт, мониторинг.

Key words: remote sensing, processing levels, vegetation index, agricultural landscape, monitoring.

Введение

В Ставропольском крае, который является одним из ведущих аграрных регионов России, разработана концепция перехода к адаптивно-ландшафтным системам земледелия. Ландшафтный подход, является основополагающим в изучении агроэкосистем, который нашел свое отражение в работах ведущих ученых в области сельскохозяйственной науки [1, 2, 3].

Под агроландшафтом, А.Н. Каштанов понимает сложную территориально-экологическую и биоэнергетическую систему, в которой все взаимосвязано и которая выступает в качестве базы для сельскохозяйственного производства [1].

В своей интерпретации понятия агроландшафт В.А. Шальнев точно определяет 2 подсистемы (природная и антропогенная), как составные части

территориальной геосистемы сельскохозяйственного типа, которые в совокупности решают проблемы продовольственного обеспечения [4].

Антропогенное воздействие это один из основных факторов, который в значительной степени оказывает влияние на окружающую среду, что приводит к ее трансформации и формированию экологически уязвимых агроландшафтов.

В Ставропольском крае начиная с 1990г. по сегодняшний день удельный вес продукции растениеводства достиг 83% за счет значительного сокращения животноводческой продукции. Площадь пашни в крае по данным на 2015г. составляет 4075 тыс. га. Площадь пашни по отдельным районам (Новоалександровский, Советский, Новоселицкий, Кировский) превышает 80%, что на фоне интенсификации сельскохозяйственного производства значительно увеличивает антропогенную нагрузку на агроландшафты. Другим негативным фактором, оказывающим влияние на агроландшафты, является незаконная распашка сенокосов и пастбищ и использование их для целей растениеводства. По данным Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии России в крае в 2015г. насчитывалось 3742 тыс. га пашни, однако по данным спутникового мониторинга детектированная площадь пашни на 333 тыс. га больше, что свидетельствует о факторах незаконного использования земель, часто не очень пригодных для возделывания продукции растениеводства.

Решение этих проблем возможно на основе использования геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли, которые являются объективным источником информации. В настоящее время многие организации идут по пути бесплатного предоставления доступа к данным дистанционного зондирования Земли и ГИС программам для их обработки. С учетом этого на первый план выходит разработка единых подходов к обработке данных космической съемки с различных космических аппаратов, для проведения многолетних наблюдением за растительностью, как основного индикатора состояния агроландшафта.

При проведении многолетнего мониторинга за состоянием агроландшафтов важным фактором является периодичность космической съемки – временное разрешение космических снимков. Данные со спутника Terra с сенсором Modis, обеспечивают получение космической информации несколько раз в сутки, обеспечивая непрерывный поток данных для мониторинга. Однако пространственное разрешение получаемых снимков от 250 м до 1 км, что не позволяет проводить эффективный анализ для участков менее 50 га [5].

Данные получаемые с космических аппаратов Landsat 8 и Sentinel 2, за счет более высокого пространственного разрешения позволяют решить вышеуказанную проблему, хотя и обладают меньшим временным разрешением, чем данные со спутника Terra. При одновременном использовании космичес-

кой информации со спутников Landsat 8 и Sentinel 2 для целей многолетнего мониторинга агроландшафтов встает вопрос о сходимости их данных.

Проблема сходимости данных со спутников Landsat 8 и Sentinel 2, подробно рассмотрена в работах зарубежных авторов и охватывает только исходные данные без уточнения их возможного использования для расчета производных показателей, например вегетационных индексов [6, 7].

Вегетационный индекс NDVI является достоверным дистанционным показателем состояния растительности в связи с этим, он может быть использован для проведения мониторинга состояния растительности агроландшафтов [5].

Учитывая тот факт, что спектральные характеристики спутников Landsat 8 и Sentinel 2 схожи, поскольку они разрабатывались на базе тесного сотрудничества Европейского космического агентства и Американской национальной геологической службы, можно предположить, что их данные будут сопоставимы в части расчета индекса NDVI. Доказательство сходимости вегетационного индекса NDVI, полученного на основе данных со спутников Landsat 8 и Sentinel 2, позволит увеличить пространственное и временное разрешение данных, которые используются для многолетних наблюдений за состоянием агроландшафтов. В связи с этим целью проводимого исследования является анализ сходимости данных с различных космических спутников для оценки состояния агроландшафтов на основе индекса NDVI.

Материалы и методы исследований

Развитие гражданского направления в использовании ресурсных космических систем началось с запуска программы спутников Landsat в 1972 г. под эгидой Американской геологической службы (USGS) и Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA), основой которого явилось формирование глобального архива космических снимков среднего пространственного разрешения (30–60 м) за длительный период. Всего в рамках программы было сконструировано 8 спутников серии Landsat, и 7 из них были успешно выведены на орбиту [8] (рис. 1).

В 1997 г. была разработана программа «Система наблюдения за Землей» (EOS) в рамках этой программы были запущены 30 спутников, из них 11 функционируют в настоящее время, в том числе Landsat 7 и 8. Программа была создана для проведения длительных наблюдений за поверхностью земли, биосферой и атмосферой. Особенностью данной программы является свободный доступ к данным со спутников, что позволило проводить эффективный анализ получаемой информации.

Активно вопросами глобального мониторинга окружающей среды и безопасности с использованием искусственных спутников занимается Европейс-

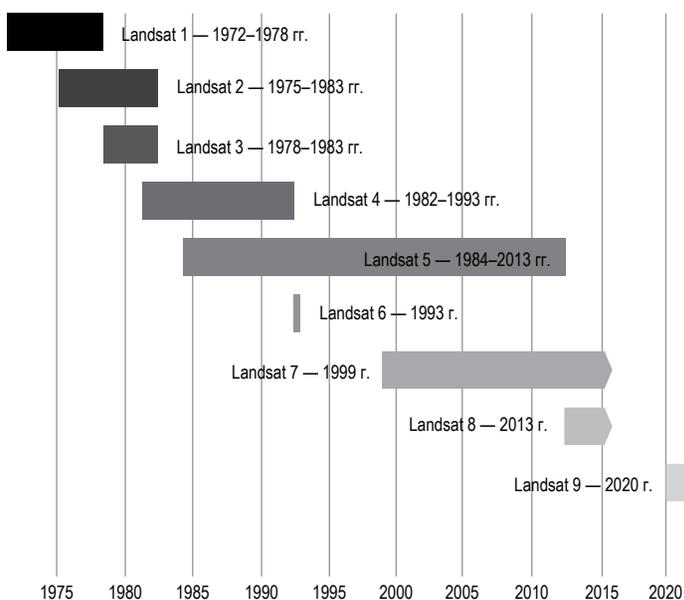


Рис. 1. Хронология работы спутниковой программы Landsat.

кое космическое агентство в рамках программы «Коперник» («Copernicus»), которая выступает ключевым элементом программы «Глобального мониторинга безопасности окружающей среды» (GMES). В рамках, которой были созданы спутники семейства Sentinel 1, 2 и 3. Наибольший интерес для нашего исследования представляют спутники Sentinel 2A, Sentinel 2B, которые были запущены в 2015 г. и 2017 г. соответственно. В них реализованы все передовые технологии получения снимков в различных зонах спектра, пространственное разрешение которых составляет от 10 м до 60 м и временное разрешение 5 дней, при этом они относятся к классу ресурсных и находятся в свободном доступе. После 2021 г. данная программа будет продолжена путем создания и запуска еще 2-х спутников Sentinel 2C и Sentinel 2D [8].

Получение информации со спутника Landsat 8 осуществляется при помощи сенсоров OLI (Operational Land Imager) и TIRS (Thermal InfraRed Sensor), которые собирают информацию по 11 спектральным каналам, включая видимую, инфракрасную и тепловую зоны. Спутники Sentinel 2, получают данные по 13 спектральным каналам при помощи сенсора MSI (Multispectral Instrument). Для выявления сходимости данных со спутников Landsat 8 и Sentinel 2 важно сопоставить их спектральные каналы (табл. 1).

Таблица 1. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПУТНИКОВ LANDSAT 8 И SENTINEL

Спектральный канал	Диапазон длин волн (мкм)	Разрешение (м/пиксель)
Sentinel 2A		
Канал 1 — побережья и аэрозоли	0,419 – 0,465	60
Канал 2 — синий	0,443 – 0,546	10
Канал 3 — зелёный	0,536 – 0,583	10
Канал 4 — красный	0,646 – 0,685	10
Канал 5 – растительности крайний красный	0,694 – 0,713	20
Канал 6 – растительности крайний красный	0,730 – 0,749	20
Канал 7 – растительности крайний красный	0,766 – 0,797	20
Канал 8 – ближний инфракрасный	0,763 – 0,908	10
Канал 8A – ближний инфракрасный	0,848 – 0,881	20
Канал 9 – водяной пар	0,930 – 0,958	60
Канал 10 – облака	1,336 – 1,415	60
Канал 11 – ближний инфракрасный	1,540 – 1,685	20
Канал 12 – ближний инфракрасный	2,067 – 2,323	20
Landsat 8		
Канал 1 — побережья и аэрозоли	0,430 – 0,453	30
Канал 2 — синий	0,450 – 0,515	30
Канал 3 — зелёный	0,525 – 0,600	30
Канал 4 — красный	0,630 – 0,680	30
Канал 5 — ближний инфракрасный	0,845 – 0,885	30
Канал 6 — средний инфракрасный 2	1,560 – 1,660	30
Канал 7 — средний инфракрасный 3	2,100 – 2,300	30
Канал 8 — панхроматический	0,500 – 0,680	15
Канал 9 — перистые облака	1,360 – 1,390	30
Канал 10 – дальний инфракрасный тепловой	10,300 – 11,300	100
Канал 11 – дальний инфракрасный тепловой	11,500 – 12,500	100

В качестве исходных материалов были использованы снимки с аппаратов Landsat 8 и Sentinel 2a за 24 июня 2017 г., в связи с тем, что в этот день была проведена съемка территории Георгиевского района Ставропольского края указанными аппаратами с разницей в 30 минут. В результате были получены безоблачные снимки исследуемой территории.

Однако исходные снимки с различных аппаратов доступные для скачивания имеют различные уровни обработки. В архиве Американской геологической службы снимки со спутника Landsat 8 хранятся в виде безразмерных нормализованных значений (Digital Number / DN), которые получены после первичной обработки данных со спутника и соответствуют первому уровню обработки (Level 1). Данный уровень обработки подходит только для целей визуального дешифрирования и представлен геометрической коррекцией изображения на основе Глобальной климатической цифровой модели рельефа (Global Climate Model DEM). Для проведения объективных научных исследований необходимо преобразовать безразмерные нормализованные значения в отражательную способность объектов (reflectance), которая позволит учитывать особенности атмосферного рассеивания и поглощения. В результате будет получен продукт второго уровня обработки (Level 2) с радиометрической коррекцией для получения спектральной отражательной способности в нижних слоях атмосферы (Bottom of atmosphere – BOA). Снимки второго уровня обработки можно получить по запросу в «Центр анализа и изучения ресурсов Земли» (EROS) [8].

Для снимков Sentinel 2A первый уровень обработки снимков несколько отличается от аналогичного для спутника Landsat 8 и включает в себя геометрическую и радиометрическую коррекцию. Принципиальное отличие состоит в том, что на первом уровне обработки получается спектральная отражательная способность в верхних слоях атмосфере (Top of atmosphere – TOA) при этом не учитывается атмосферное рассеивание и поглощение.

В результате снимки Sentinel 2A, требуют обработки 2 уровня (Level 2), для максимальной идентичности исходной отражательной способности объектов. Обработку второго уровня необходимо делать с привлечением специальных программных средств для обработки космических снимков, а в частности программы Snap Desktop, разработанной под эгидой Европейского космического агентства [9].

Для проведения пространственного анализа данных космической съемки были использованы методы ГИС, а в частности, наложение (оверлей), пространственная выборка, зональная статистика. В качестве основного программного обеспечения ГИС была использована программа Quantum GIS, которая относится к категории свободного программного обеспечения (GNU General Public License).

Для статистической оценки рядов вегетационного индекса были использованы, среднее, медиана, сумма, коэффициент вариации, оценка на нор-

мальности была проведена по критерию Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса, а сходимость рядов была оценена по t-критерию Стьюдента на 1% уровне значимости [10].

Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) выступает наиболее распространенным средством для расчета количества активной биомассы. В основу алгоритма расчета индекса положены значения отражения в красной и инфракрасной зонах спектра [11]. Растительный покров выступает косвенным индикатором состояния агроландшафта, в связи с чем нами определялась сходимость показателей индекса NDVI.

Анализируя характеристики используемых нами космических снимков в качестве исходных спектральных каналов, были использованы для Landsat 8 – 4 красный (0,63–0,68 мкм) и 5 инфракрасный канал (0,845–0,885 мкм), для Sentinel 2A – 4 красный (0,646 – 0,685 мкм) и 8 инфракрасный канал (0,763–0,908 мкм). Особенностью использования указанных каналов является их не полная идентичность в охватываемых диапазонах длин волн электромагнитного излучения.

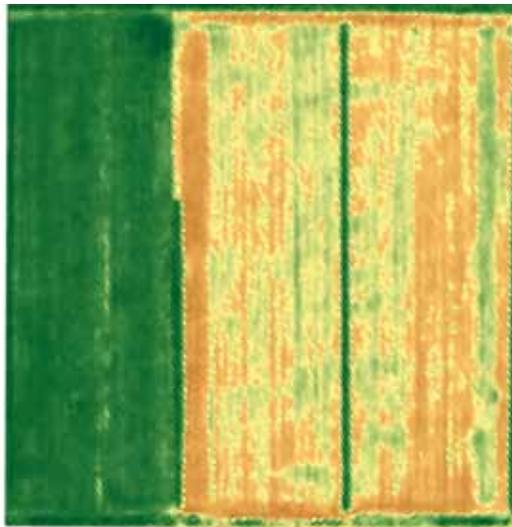
Результаты исследований и их обсуждение

Георгиевский район Ставропольского края относится к зоне неустойчивого увлажнения со среднегодовой температурой 10,7 °С и годовой суммой осадков 542 мм. [12]. Район отличается высокой сельскохозяйственной освоенностью, так 77% территории района распахано. Почвенно-климатические условия района позволяют возделывать широкий спектр культур, таких как, озимая пшеница, озимый ячмень, подсолнечник, кукуруза, соя, горох, при этом пар занимает менее 3% от площади пашни. Указанные культуры обладают разной продолжительностью вегетационного периода и сроками его наступления, в связи с этим, анализ космического снимка за 24.06.2017 г. обеспечит максимальную выборку с охватом всех культур, возделываемых в районе.

На начальном этапе была дешифрирована и оцифрована вся площадь пашни по снимку со спутника Sentinel 2A с разрешением 10 метров, путем визуального дешифрирования. Установлено, что на 24.06.2017 г. в Георгиевском районе насчитывалось 150500 га пашни, всего было оцифровано 2010 контуров пахотных земель площадью свыше 25 га, так как уголья с меньшей площадью сложно детектировать и оценивать их состояние на снимках с пространственным разрешением 30 м.

С использованием специальных программных продуктов были рассчитаны значения вегетационного индекса NDVI для каждой точки на снимках Landsat 8 и Sentinel 2A (рис. 2). В связи с тем, что снимки имеют различное пространственное разрешение, провести их сравнение попиксельно не представляется возможным.

Sentinel 2A



Landsat 8



Вегетационный индекс NDVI

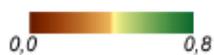


Рис. 2.

Сравнение вегетационного индекса NDVI на 24.06.2017 г. спутник Sentinel 2A и Landsat 8 на участках Георгиевского района Ставропольского края.

Таблица 2. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЯДОВ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ

Спутник	Среднее	Медиана	Сумма	Коэффициент вариации
Landsat 8	$0,70 \pm 0,12$	0,73	1371	1,6
Sentinel 2A	$0,70 \pm 0,15$	0,74	1368	2,5

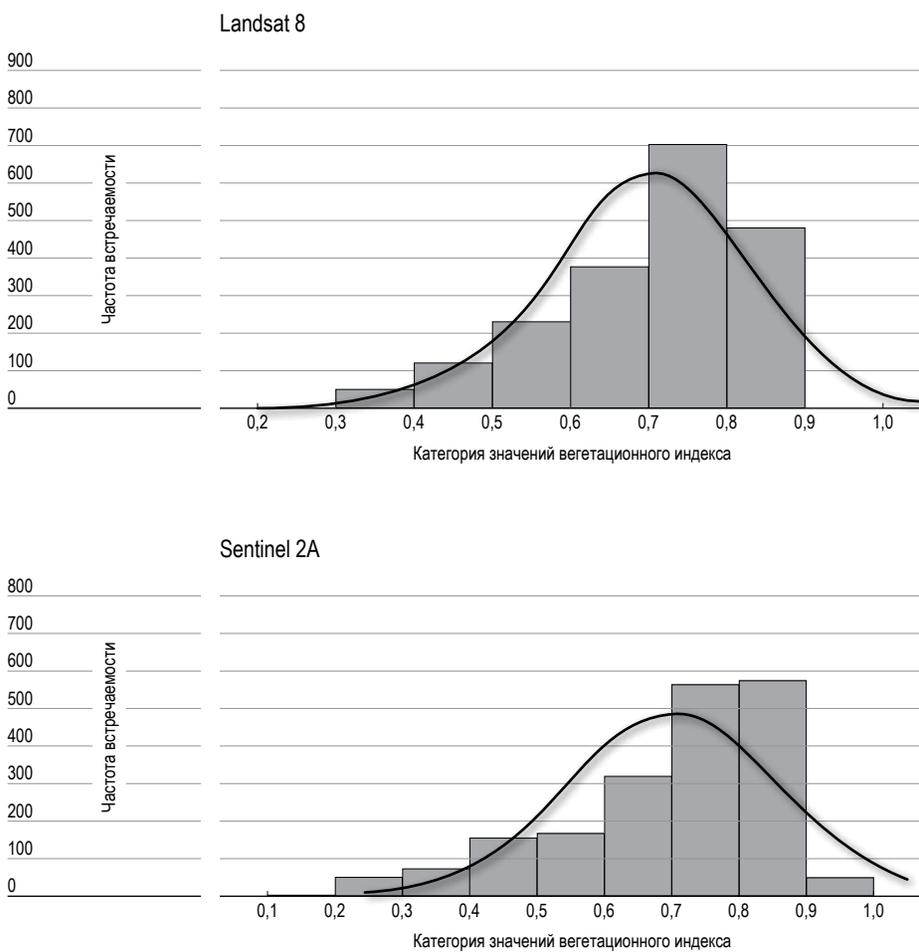


Рис. 3. Оценка нормальности распределения значений вегетационного индекса.

Для сравнения полученных результатов при помощи методов ГИС-технологий нами было проведено осреднение значений вегетационного индекса по каждому выделенному контуру пашни и статистическая обработка полученных данных (табл. 2).

Статистический анализ полученных рядов наблюдений показал, практически полную идентичность описательных статистических показателей. Основным отличием более высоких значений коэффициента вариации по данным со спутника Sentinel 2A, по нашему мнению является более высокое пространственное разрешение, которое позволяет получать более детальную картину распределения вегетационного индекса.

Полученные ряды были проверены на нормальность, используя тест Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса, который показал, нормальность распределения в двух рядах значений на 1% уровне значимости (рис. 3).

Поскольку полученные ряды значений имеют нормальное распределение, мы провели их сравнение по *t*-критерию Стьюдента ($t = 0,33$), который выявил идентичность рядов значений на 1% уровне значимости.

Выводы

На основании проведенного нами исследования, установлена полная сходимость данных со спутников Landsat 8 и Sentinel 2A, используемых для оценки состояния растительности при помощи расчета вегетационного индекса. Основное условие, которое необходимо соблюдать – использовать для оценки состояния растительности снимки со вторым уровнем обработки (Level 2) на котором проведена геометрическая и радиометрическая коррекция и получены значения отражения от нижних слоев атмосферы. Использование данных со спутников Landsat 8 и Sentinel 2A, позволит увеличить временное разрешение данных с 16 дней до 5 дней и пространственное разрешение с 30 м. до 10м., что обеспечит получение более полной и подробной информации о состоянии растительности агроландшафтов. На основании полученных результатов доказана возможность совместного использования данных дистанционного зондирования со спутников Landsat 8 и Sentinel 2A для осуществления многолетнего мониторинга за состоянием растительности путем анализа вегетационного индекса NDVI.

Библиографический список

1. Каштанов А.Н. Концепция ландшафтной контурно-мелиоративной системы земледелия // Земледелие. 1992. № 4. С. 2–4.
2. Лопырев М.И. Основы агроландшафтоведения. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та. 1995. 180 с.
3. Кирюшин В.И. Основные принципы разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Земледелие. 1996. № 3. С. 42–44; № 4. С. 38–41.
4. Шальнев В.А., Диденко П.А. К вопросу об изучении структуры агроландшафта // Вестник СГУ. Ставрополь. 1997. № 12. С. 37–43.
5. Плотников Д.Е., Барталев С.А., Лупян Е.А. Метод детектирования летне-осенних всходов озимых культур по данным радиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5. Т. 2. С. 322–330.
6. Li, S. , Ganguly, S. , Dungan, J. , Wang, W. and Nemani, R. (2017) Sentinel-2 MSI Radiometric Characterization and Cross-Calibration with Landsat-8 OLI. *Advances in Remote Sensing*, 6, 147–159. doi:10.4236/ars.2017.62011.
7. Mandanici, E., Bitelli, G. Preliminary Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 Imagery for a Combined Use. *Remote Sensing*. 2016, 8(12), 1014; <https://doi.org/10.3390/rs8121014>.
8. Казяк Е.В., Терехина Э.А. Картографирование структуры посевных площадей с применением снимков Landsat 8 (на примере Минской области Республики Беларусь) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2015. №21 (218). Выпуск 33. С. 127–131.
9. Перепечина Ю.И., Глушенков О.И., Корсиков Р.С. Определение лесистости и количественных характеристик лесов по космическим снимкам Sentinel 2 (на примере Шебекинского муниципального района Белгородской области) // Дистанционные методы в лесном хозяйстве. 2017. №4. С. 85–93.
10. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Изд-во Статистика. 1976. 598с.
11. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1973) "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS" _ Third ERTS Symposium, NASA SP-351, vol. 1, pp.309–317.
12. Антонов С.А. Тенденции изменения климата и их влияние на земледелие Ставропольского края // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. №4 (66). С. 43–46.

References

1. Kashtanov A.N. Kontseptsiya landshaftnoy konturno-meliorativnoy sistemyi zemledeliya (The concept of a landscape contour-meliorative system of agriculture). // *Zemledelie*. 1992. № 4. pp. 2–4.
2. Lopyrev M.I. Osnovyi agrolandshaftovedeniya (Fundamentals of

- agrarian landscaping). Voronezh: Izd-vo Voronezh. un-ta. 1995. 180 p.
3. Kiryushin V.I. Osnovnyie printsipyi razrabotki adaptivno-landshaftnyih sistem zemledeliya (Basic principles of development of adaptive-landscape systems of agriculture) // *Zemledelie*. 1996. №3. pp. 42–44; № 4. pp. 38–41.
 4. Shalnev V.A., Didenko P.A. K voprosu ob izuchenii strukturyi agrolandshafta (To the question of studying the structure of the agrolandscape). // *Vestnik SGU. Stavropol*. 1997. № 12. pp. 37–43.
 5. Plotnikov D.E., Bartalev S.A., Lypyan E.A. The method of detecting summer-autumn germination of winter crops by a MODIS radiometer // *Modern problems of remote sensing*. 2008. Vol. 5. Part. 2. pp. 322–330.
 6. Li, S. , Ganguly, S. , Dungan, J. , Wang, W. and Nemani, R. (2017) Sentinel–2 MSI Radiometric Characterization and Cross-Calibration with Landsat–8 OLI. *Advances in Remote Sensing*, 6, pp. 147–159. doi:10.4236/ars.2017.62011.
 7. Mandanici, E., Bitelli, G. Preliminary Comparison of Sentinel–2 and Landsat 8 Imagery for a Combined Use. *Remote Sensing*. 2016, 8(12), 1014; <https://doi.org/10.3390/rs8121014>.
 8. Kazyak E.V., Terehina E.A. Kartografirovanie strukturyi posevnyih ploschadey s primeneniem snimkov Landsat 8 (na primere Minskoy oblasti Respubliki Belarus) (Mapping of the structure of sown areas with the use of Landsat 8 images (on the example of the Minsk region of the Republic of Belarus)). // *Nauchnyie vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyie nauki*. 2015. № 21 (218). Vyipusk 33. pp. 127–131.
 9. Perepechina Yu.I., Glushenkov O.I., Korsikov R.S. Opredelenie lesistosti i kolichestvennyih harakteristik lesov po kosmicheskim snimkam Sentinel 2 (na primere Shebekinskogo munitsipalnogo rayona Belgorodskoy oblasti) (Determination of forest cover and quantitative characteristics of forests from space images of Sentinel 2 (on the example of Shebekinsky municipal district of the Belgorod region)) // *Distantsionnyie metody v lesnom hozyaystve*. 2017. №4. pp. 85–93.
 10. Zaks L. Statisticheskoe otsenivanie (Statistical estimation). M.: Izd-vo Statistika. 1976. 598p.
 11. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1973) "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS," _ Third ERTS Symposium, NASA SP–351, vol. 1, pp.309–317.
 12. Antonov S.A. Tendentsii izmeneniya klimata i ih vliyanie na zemledelie Stavropolskogo kraya (Trends in climate change and their impact on the agriculture of the Stavropol Territory) // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. № 4 (66). pp. 43–46.

УДК 553.982.2 (470.6)

**Бейтуганова М.А. [Beituganova M.A.],
Гридин В.А. [Gridin V.A.]****ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ
НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ
ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ
И ЗОН ВОЗМОЖНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ
УГЛЕВОДОРОДОВ****Evaluation of the hydrocarbon potential
of the eastern for-caucasus and areas of possible
localization hydrocarbon**

Территория Предкавказья является старейшим нефтегазодобывающим регионом России. С начала прошлого века до настоящего времени на всей территории проводятся интенсивные геологоразведочные работы, в том числе и сейсморазведочные. В результате создана плотная сеть сейсморазведочных работ МОГТ различной детальности, давшая обширный материал для изучения глубинного строения различных структурно-тектонических элементов, литофациального состава пород, их слагающих, и распространения по площадям, а, также, пробурены тысячи глубоких скважин, позволившие оценить характер вскрытых отложений и их нефтегазоносность. В данной статье произведена сравнительная характеристика районов Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области, рассмотрено выделение и оконтуривание структур и зон возможной локализации УВ, дана оценка ресурсного потенциала углеводородного сырья нефтегазоносных районов.

The territory of the Ciscaucasia is the oldest oil-producing region of Russia. Since the beginning of last century to the present throughout an intensive exploration, including seismic. The result is a dense network of seismic works mogt variety of details, which gave ample material for studying the deep structure of the various structural-tectonic elements and lithofacies composition of the rocks composing them, and spread on the area and also drilled thousands of deep wells, which allowed to estimate the character of the exposed sediments and their petroleum potential. In this article the comparative characteristic areas of the Eastern CIS-Caucasian oil and gas field, considered the allocation and delineation of structures and areas of possible localization of hydrocarbons, the estimation of the resource potential of hydrocarbon raw materials of oil and gas regions.

Ключевые слова: углеводородное сырье, Восточное Предкавказье, нефтегазоносность, ресурсный потенциал.

Key words: hydrocarbons, Eastern Caucasus, petroleum potential, resource potential.

Введение

Промышленная нефтегазоносность территории Восточного Предкавказья установлена в широком стратиграфическом диапазоне, от миоцена до триасовых отложений. В настоящее время запасы миоценовых залежей находятся на завершающей стадии разработки. Большинство обводнилось. Однако в пределах некоторых продуктивных пластов скважины продолжают подавать безводную нефть.

Высокие перспективы и технические возможности освоения больших глубин позволили расширить стратиграфический диапазон нефтегазоносности территории за счет открытия залежей в верхнемеловых, нижнемеловых, юрских, триасовых отложениях и в спорных по стратификации породах фундамента.

Комплексный анализ накопленного геолого-промыслового и геофизического материала обозначил новые задачи поисково-разведочных работ. Послужил основой разработки новых представлений и теорий нефтегазонакопления продуктивных толщ. Одна из проблем связана с особенностями размещения залежей нефти и газа в трещинных коллекторах.

Длительное время пространственное размещение углеводородов в трещинных резервуарах моделировалось по аналогии с гранулярными коллекторами. Открытие нестандартных залежей с размещением нефти и воды по всей продуктивной толще послужило основанием заново изучить залежи трещинных коллекторов и объяснить особенности их нефтеводонасыщения.

Промышленная нефтегазоносность карбонатных пород верхнеюрских отложений установлена в начале пятидесятых годов прошлого столетия.

Материалы и методы исследований

Верхнеюрские отложения, являющиеся перспективным объектом поисков УВ залежей, на Северо-Восточном Кавказе, представлены мощными толщами сульфатно-галогенных и карбонатных пород, фаунистически они охарактеризованы весьма неравномерно, но все же удается палеонтологически обосновать в верхнем юрском отделе на характеризующей территории присутствие отложений келловейского, оксфордского, кимериджского и титонского ярусов. Очень хорошо палеонтологически обоснованы пограничные ярусы меловой системы: берриасский и валанжинский. В свою очередь как юрские, так и меловые ярусы расчленяются на подъярусы и зоны, а в ряде случаев и подзоны. Местную шкалу составляют 16 свит (12 свит позднеюрского возраста и 4 свиты раннемелового возраста). Вспомогательную шкалу образуют: "подсолевая" юра и "надсолевая" юра. "Солевая" юра не является однородной толщей. Снизу вверх "солевая" юра представлена нижней "соленосной", "межсолевой" и "верхней" соленосной толщами.

Территория Предкавказья является старейшим нефтегазодобывающим регионом России.

С начала прошлого века до настоящего времени на всей территории проводятся интенсивные геологоразведочные работы, в том числе и сейсморазведочные. В результате создана плотная сеть сейсморазведочных работ МОГТ различной детальности, давшая обширный материал для изучения глубинного строения различных структурно-тектонических элементов, литофациального состава пород, их слагающих, и распространения по площадям,

а, также, пробурены тысячи глубоких скважин, позволившие оценить характер вскрытых отложений и их нефтегазоносность.

В разрезе Предкавказья выделяются семь основных перспективных нефтегазоносных комплексов: пермо-триасовый, ниже-среднеюрский, верхнеюрский, нижнемеловой, верхнемеловой, палеоцен-эоценовый и майкопский палеогена, неогеновый. В настоящее время к перспективным относятся и комплекс отложений основания мезо-кайнозойского осадочного чехла (палеозойский).

Оценка потенциала нефтегазоносности по нефтегазоносным провинциям РФ происходит периодически, обычно методом «Геологических аналогий». Последний раз она осуществлялась в 2002 году. Для каждой провинции подсчитывались суммарные текущие извлекаемые ресурсы УВ. Возьмём за основу эти материалы. Соответственно для определения перспектив нефтегазоносности Восточного Предкавказья нужно вычленить оценку его нефтегазоносного потенциала из совокупной оценки по всей Северо-Кавказкой провинции (НГП).

Таким образом, по современной оценке перспектив территории Восточного Предкавказья на углеводородное сырьё, можно рассчитывать на обнаружение ресурсов УВ в объёме 102790 тыс. т УТ. Из них на 31 перспективной, подготовленной к бурению площади оцененные перспективные ресурсы составляют чуть менее половины приведённой суммы, соответственно мы вправе рассчитывать на обнаружение на территории Восточного Предкавказья ещё около 30 перспективных нефтегазопоисковых объектов.

Выделение и оконтуривание структур и зон возможной локализации УВ. Оценка ресурсного потенциала углеводородного сырья нефтегазоносных районов.

Многими исследователями отмечается, что выявленные структуры в юрско-меловых отложениях выполаживаются вверх по разрезу (Летавин, 1987). Наиболее чётко на территории изучаемого объекта структурообразование прослеживается в юрский и меловой периоды, соответственно и выделение структур приурочено к этим толщам. Основным методом поиска структурных ловушек традиционно является сейсморазведка. Нефтегазоносность структур обуславливается историей геологического развития территории и, прежде всего, развитием дизъюнктивной тектоники. Расположение зон локализации скоплений УВ контролируется тектоническим строением территории на региональном и зональном уровнях. В первом случае в качестве организующего фактора выступают крупные тектонические элементы, определяя контуры нефтегазоносных районов, а во втором – структуры второго и третьего порядков, положительного знака: валы, поднятия.

Нефтегазоносные районы Восточного Предкавказья. В пределах объекта выделяются два нефтегазоносных района (НГР): Восточно-Маньчский и Прикумский (рис.2.1). Рассматриваемые районы характеризуются примерно одинаковыми масштабами нефтегазонакопления. Однако скопления угле-

водородов здесь распределены не равномерно по площади, а сконцентрированы в южной части Восточно-Манычского и северной Прикумского районов. Эти смежные территории сходны по основным геологическим характеристикам.

Таблица. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ВОСТОЧНО-ПРЕДКАВКАЗСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ

Характеристика	Прикумский нефтегазоносный район
Геоструктурная выраженность тектонического элемента по фундаменту	Крупный линейно вытянутый структурный выступ, осложненный обширными поднятиями, зонами валообразных и изометрических структур; депрессионные зоны, в основном, неглубокие
Стратиграфический диапазон осадочного чехла; мощность, км	$N_1 - K_1$, неповсеместное распространение отложений J и спорадическое развитие T ; 2,8–5
Нижний продуктивный комплекс	Разновозрастный, в зависимости от объема стратиграфического разреза: с юго-востока на северо-запад – T, J, K_2
Геоструктурная выраженность элемента по нижнему продуктивному комплексу осадочного чехла или переходного комплекса	Переходный комплекс (T) характеризуется сложной складчато-блоковой тектоникой; низы платформенного чехла ($J - K_1$) повторяют структуру поверхности фундамента и переходного комплекса в значительно более пологих структурных формах
Диапазон структурной выраженности по разрезу	Выделяется в структуре комплексов T и частично J По отложениям $K - P_2$ оба района самостоятельно не выделяются; в западных частях им соответствует крупная пологая структурная терраса, в восточных – слабо
Площадь, тыс. км ²	14,4
Продуктивные горизонты; региональные покрывки	Основной продуктивный комплекс – $K_1a_1 - K_1nc$ (восточная часть), трансгрессивно залегающий на породах PZ, T, J и участками гидродинамически с ними связанный (до шести продуктивных горизонтов); верхний экран – глины K_1a_1 ; внутриформационные покрывки не выдержаны. Продуктивны K_1a_1 и K_1a_2 (западная часть); верхний экран – глины K_1a_1 . В J до шести продуктивных горизонтов в базальной, средней и кровельной частях разреза; спорадически гидродинамическая связь с T и K_1 ; покрывки – внутриформационные глины, реже глины T (в зоне эрозии). Подчиненно продуктивны K_2, P_2 и $P_3 - N_1mk$, а в западной части района также $N_1t...$
Распределение месторождений по площади	Более половины месторождений связаны с нижне-аптской-юрской-триасовой частями разреза, расположены в северной половине района; остальные, характеризующиеся более узким диапазоном продуктивности и приуроченностью к более молодым стратиграфическим комплексам (в основном, начиная с K_1a_1), находятся в юго-западной частях района
Глубина залегания, км; фазовое состояние углеводородов	$T - 4-4,8$; нефтяные $J - 3,2-3,9$; $K_1a_1 - K_1nc - 2,8-3,7$; нефтяные, на восточном погружении, а также в приподнятых зонах на западе – газоконденсатные. $K_1a_1 - 2,5-2,9$; нефтяные, на западе также газоконденсатные месторождения $K_2 - 2,4-2,7, P_2 - 2,3-2,6$; нефтяные месторождения. $P_3 - N_1mk, N_1t...$

кам (объему осадочного чехла, истории развития ловушек, наличию многочисленных зон гидродинамической связи триасовых, юрских и неокомских отложений и д.р.) (таб.).

Восточно-Маньчский нефтегазоносный район

Крупный прогиб, осложненный системой линейно ориентированных и контрастно выраженных грабен и горстов

N – T; 3,5–6,5

T

Выделяется частично в структуре комплексов T, J

дифференцированная гомоклиналь; по отложениям Pg – N₁mk и N районы на большей территории характеризуются моноклинальным строением

14,8

Основной продуктивный комплекс – K₁a₁ – K₁nc трансгрессивно залегающий на породах J и гидродинамически с ними связанный на южном борту; содержит от 1 до 4 продуктивных горизонтов; верхний экран – глины K₁a₁; внутриформационные покрышки не выдержаны.

Продуктивны K₁a₁ и K₁a₂; верхний экран – глины K₁a₁.

В J до четырех продуктивных горизонтов в различных частях разреза; на южном борту гидродинамическая связь с отложениями T и K₁; покрышки – внутриформационные глины.

В T основной продуктивный горизонт расположен в верхней эродированной части T₁; покрышки – локально развитые глины T и J. T₂ продуктивен спорадически. Ограниченно продуктивны K₂ и Pg₃ – N₁mk

Большая часть месторождений характеризуется широким диапазоном продуктивности (K₁a₁ – J – T) и приурочена к наиболее структурно дифференцированной южной части района; ограниченно продуктивны K₁ и J в пределах слабо дифференцированного северного борта и T в погруженной восточной части прогиба

T – 3,5 – 4,8; нефтяные и газоконденсатные месторождения.

J – 3,2 – 3,4; K₁a₁ – K₁nc – 3–3,3; нефтяные, на восточном погружении встречены газоконденсатные месторождения.

K₁a₁ – 2,5–2,8, K₂ – 2,3–2,5; нефтяные месторождения.

Pg₃ – N₁mk – 1,3–1,8; газовые месторождения

Результаты исследований и их обсуждение

Ограниченная по продуктивности юго-западная часть Прикумского района по структурным показателям (степени дислоцированности, морфологии структур, структурной выраженности по разрезу) существенно не отличается от рассмотренных выше территорий. Здесь, однако, отсутствуют залежи в неоком-аптских отложениях – основном продуктивном комплексе упомянутых выше районов. Это связано, с одной стороны, с различной историей геологического развития локальных структур, а с другой стороны, с тем, что здесь неокомские отложения залегают на фундаменте и не имеют непосредственной гидродинамической связи с возможными источниками генерации углеводородов в юрских и триасовых отложениях. Возможность миграции углеводородов из расположенных севернее зон гидродинамической связи юрских и нижнемеловых отложений также была затруднена, ввиду того, что юго-западная часть Прикумского района на всех этапах геологического развития находилась гипсометрически ниже.

Манычский НГР представляет собой по фундаменту крупный ассиметричный прогиб широтного простирания, северный и южный борта которого ограничены крупными также широтного простирания разломами. Глубина поверхности фундамента в осевой части превышает 6,5 км. На северном и южном бортах – 4–4,5 км. В целом Восточно-Манычский прогиб по фундаменту значительно расчленен. Здесь фиксируются глубокие прогибы (Арзгирский, Чограйский, Восточно-Манычский, Шанахдукская впадина) и валы (Дадынский и Величаевско-Максимокумский). Эти структурные элементы фундамента сильно нарушены разломными дислокациями, что обуславливает блоковое строение прогиба.

Вся зона Восточно-Манычского прогиба выполнена отложениями пермо-триаса, максимальные мощности которых в прогнутых частях превышают 2 км. Структуры триаса характеризуются значительной дислоцированностью. По размытой поверхности структурные элементы нивелируются. В верх по разрезу мезо-кайнозой контрастность структур уменьшается и в отложениях неогена многие из них не отображаются. При этом отмечаются полное отсутствие разрывных нарушений. Наибольшей структурной дифференциацией характеризуется южный борт прогиба.

Диапазон нефтегазоносности Восточно-Манычского прогиба широк и связан с отложениями триаса, юры, мела, палеогена и неогена. Однако по площади диапазон нефтегазоносности и масштабы аккумуляции углеводородов не равнозначны.

В пределах южного борта Восточно-Манычского прогиба выделяется крупная Величаевско-Максимокумская зона нефтегазонакопления (ЗНГН), с которой связаны многопластовые (8–10 залежей) месторождения – Колодезное, Величаевское, Зимнеставкинское и др. Всего в этой зоне выявлено 20 месторождений. Из них: 12 – нефтяных, 6 – нефтегазовых и 2 – нефтегазокон-

денсатных с начальными запасами нефти 145 млн т (извлекаемые), газа 6,8 млрд м³, конденсата 2,5 млн т (извлекаемые). По масштабам концентрации запасов УВ это главная зона аккумуляции Восточно-Предкавказской НГО.

Нефтегазоносность установлена по всему разрезу, от триаса до палеогена (олигоцен). В триасовых отложениях залежи нефти приурочены к известнякам нижнего триаса (нефтекумская свита). Ловушки морфологически связаны с эрозионными останцами, возможно, биогермными породами. Залежи массивные и стратиграфически экранированные. Покрышкой являются глинистые пласты в подошве юрских отложений, которые непосредственно перекрывают продуктивные известняки.

В погруженных частях зоны покрышками служат внутриформационные глинистые толщи средне-нижнетриасовых отложений. Глубина залегания залежей изменяется от 3,5 км до 4,2 км. Залежи небольшие по размерам и запасам. Нефти характеризуются, как легкие, плотностью 0,811–0,852. Отмечается зависимость уменьшения плотности нефти с увеличением глубины залегания продуктивных отложений.

В юрском комплексе залежи нефти и газоконденсата связаны с терригенными коллекторами нижнего (VII пачка), среднего (V пачка) и верхнего (III пачка) отделов. Размещение залежей УВ контролируется структурными и литологическими условиями. Покрышками являются внутриформационные глины, а в зонах трансгрессивных контактов – перекрывающие глинистые прослои нижнего мела. Глубина залегания продуктивных пластов 3,2–3,5 км. Залежи нефти небольшие по запасам.

По физико-химическим свойствам юрские нефти сходны с нижнемеловыми и характеризуются плотностью 0,8–0,82. Свободный газ содержит метана 62–80%, азота 2–3%, углекислого газа 3–5%. Плотность газа 0,865.

Основные по запасам залежи УВ связаны с терригенными коллекторами неокома, аптского и альбского ярусов нижнего мела. Большинство месторождений являются многопластовыми. Основные нефтеносные горизонты располагаются в базальном песчаном пласте апта (VIII пачка) и в залегающем ниже барремском пласте (IX пачка), с которыми связано до 80% запасов Величаевско-Максимокумской зоны поднятий. Эти терригенные коллектора непосредственно залегают под глинистой толщей, в низах аптского яруса (VII пачка), которая является региональной покрышкой. Для других продуктивных пластов нижнего мела – VI, IV, I покрышками служат внутриформационные толщи глин, которые не выдержаны по площади. Продуктивные пласты залегают на глубинах 2,5–3,25 км. Тип залежей пластовый сводовый и структурно-литологический.

По фазовому состоянию УВ большинство месторождений нефтяные. Нефтегазоконденсатные залежи в VIII и IX пластах отмечаются только в погруженной юго-восточной части зоны, на глубинах 3,2–3,25 км (месторождение Русский Хутор).

Нефти нижнего мела легкие, плотностью 0,75–0,82 и по составу близки юрским. В свободном газе содержание метана не превышает 64,5% и по составу близки юрским. В свободном газе содержание метана не превышает 64,5%, сероводорода 0,84%, азота 3–4%, углекислого газа 3–10%/. Плотность газа высокая, 0,840–0,895. Конденсат имеет плотность 0,77–0,8.

Нефтеносность верхнемеловых отложений ограничена и связана, в основном, с мелоподобными трещиноватыми известняками маастрихтского яруса. По строению коллектора залежи нефти массивные. Покрышкой являются перекрывающие глинисто-мергельные отложения палеогена. Залежи нефти небольшие по запасам и залегают на глубинах 2,3–2,5 км. Нефти по составу близки к нефтям альбского яруса нижнего мела и характеризуются плотностью 0,858–0,853.

Палеогеновые отложения Восточно-Маньчского нефтегазоносного района представлены глинисто-мергельными породами, не содержат коллекторов и поэтому непродуктивны.

С отложениями миоцена (средний майкоп) Величаевско-Максимокумской зоны связаны небольшие по запасам залежи газа на глубинах 1,3–1,8 км. Коллекторами являются песчано-алевритовые пласты. Покрышками – внутриформационные глинистые прослои. Тип залежей пластовый сводовый. Состав газа преимущественно метановый, 98%. Азота 1,6%, углекислого газа 0,1%. Плотность 0,570–0,560.

В пределах северного борта Восточно-Маньчского прогиба выделяется Ильменско–Комсомольская зона нефтенакопления, в которой выявлены пять месторождений с запасами 4,7 млн т (извлекаемые). По масштабам аккумуляции эта зона имеет подчиненное значение. Залежи нефти приурочены к небольшим по размеру локальным структурным ловушкам. Продуктивные пласты залегают на глубинах 2,4–3 км и связаны с терригенными коллекторами нижнего мела и средней юры. По типу залежи пластовые сводовые и структурно-литологические. Покрышками являются внутриформационные глинистые прослои.

Нефти юрских залежей легкие, плотностью 0,795–0,808. Нижнемеловые нефти имеют большую плотность – 0,816–0,825.

В центральной части Восточно-Маньчского прогиба выделяется нефтегазонакопления, в которой выявлены 3 нефтяных и 2 газоконденсатных месторождения с начальными запасами нефти 4,2 млн т (извлекаемые), свободного газа 0,5 млрд м³, конденсата 0,4 млн т.

В западной части нефтяные месторождения связаны с терригенными пластами нижнего мела и юры на глубинах 3,0–3,2 км (Плавненское, Камышовое). В восточной погруженной части, на глубинах 4,4 км, с терригенно-карбонатными коллекторами связаны нефтяные (Озерное) и газоконденсатные (Южно-Буйнакское) месторождения. По масштабам аккумуляции эта зона также имеет второстепенное значение

Нефти нижнего мела и триаса легкие, плотностью 0,811–0,824. По составу газ газоконденсатных месторождений содержит метана 66–72%, азота 1,4%, углекислого газа 0,5–9,1%. Плотность газа 0,623–0,638, конденсата 0,748–0,760.

В целом Восточно-Манычский НГР характеризуется значительными неразведанными ресурсами УВ – по нефти около 100 млн т (извлекаемые), по газу около 50 млрд м³, которые, в основном, связаны с мезозоем.

Прикумский НГР

объединяет систему тектонических элементов валов, поднятий и впадин. Этот тектонический элемент имеет субширотное простирание и ступенчатое строение с погружением фундамента от – 3,0 км на СЗ до – 6,0 км на ЮВ. Фундамент значительно расчленен и с запада на восток последовательно перекрывается нижнемеловыми, юрскими и триасовыми отложениями.

В западной части Прикумской системы по фундаменту выделяется Петропавловское поднятие. В разрезе платформенного чехла здесь отсутствуют отложения пермо-триаса, юры и породы фундамента перекрываются нижнемеловым комплексом.

Восточнее Петропавловского выделяется Озек-Суатское поднятие (–3500 м), в пределах которого отсутствуют отложения пермо-триаса и породы фундамента перекрываются юрским комплексом. Восточным продолжением Озек-Суатского поднятия является Сухокумский субширотный валообразный выступ (Таловская ступень), погружающийся до отметок –6000 м. В пределах Сухокумского выступа получают развитие значительные мощности отложений триаса и юры.

В южной части Прикумской системы поднятий выделяется Прасковейско-Ачикулакский сложный вал, в западной части которого на фундаменте (–3600–3700 м) залегают отложения нижнего мела. Восточная часть вала погружена (–3800–4500 м). Здесь в разрезе появляются триасовые и юрские отложения.

Вышеуказанные поднятия и валы осложнены многочисленными локальными структурами. В западных частях тектонических элементов структурная выраженность проявляется по всему разрезу. С погружением пород на восток контрастность структур уменьшается вверх по разрезу и большинство из них являются погребенными. В особенности, это характерно для Сухокумской зоны, локальные структуры которой отображаются в триасе, юре и постепенно затухают в нижнем меле.

Петропавловское, Озек-Суатское поднятия и Сухокумская зона отделяются от Прасковейско-Ачикулакского вала системой прогибов. На западе это Довсунский прогиб (–4500 м), выполненный отложениями пермо-триаса, на которых залегают нижнемеловой комплекс.

Далее на восток прослеживаются Кумский и Бажиганский прогибы (–4500 м) выполненные пермо-триасовыми, юрскими, нижнемеловыми, палеоген-неогеновыми отложениями. Борта прогибов осложнены нарушениями и локальными поднятиями.

Нефтегазоносность Прикумского НГР связана с отложениями триаса, юры, мела, палеогена. Однако по площади, разрезу, фазовому составу УВ, масштабы нефтегазонакопления различны и неравнозначны. В восточных погруженных частях района разведаны нефтяные и газоконденсатные месторождения.

В пределах северной части Прикумского НГР выделяются Озексуатская зона нефтенакопления и Сухокумская зона нефтегазонакопления, а в южной части района – Прасковейско-Ачикулакская зона нефтенакопления и Тюбинско-Соляная зона нефтегазонакопления. В западной части района выделяется Южно-Серафимовско-Сельская зона газонакопления.

В Озек–Суатской зоне нефтенакопления продуктивность связана с отложениями юры, нижнего и верхнего мела, и, ограничено, палеогена. Здесь разведано 20 месторождений нефти с начальными запасами 38,6 млн т. В юрских отложениях залежи нефти связаны с терригенными пластами верхней (III пачка), средней (V пачка) и нижней юры (VII пачка) на глубинах 3,3–3,5 км в ловушках небольших размеров. Наряду со сводовыми, широко распространены литологически и стратиграфически экранированные залежи в зонах трансгрессивных контактов с перекрывающими отложениями нижнего мела. Покрышками являются внутриформационные глины. Юрские нефти лёгкие плотностью 0,819–0,830.

Основные по запасам, залежи нефти, также как и в Величаевско-Максимокумской зоне, связаны с терригенными коллекторами барремского (IX пачка), аптского (VIII пачка) на глубинах 3,2–3,4 км и альбского (I пачка) на глубинах 2,7–2,8 км ярусов нижнего мела. Региональные покрышки представлены глинистыми толщами в низах аптского (VII пачка) и верхней части альбского ярусов. Для остальных пластов неокома покрышками являются внутриформационные глинистые прослои.

Типы нижнемеловых залежей разнообразны. Для аптского (VIII пачка) и неокомского (XIII пачка) базальных пластов характерны структурно-литологически экранированные залежи. Резервуары барремского (IX пачка) и альбского (I пачка) ярусов содержат, в основном, пластовые сводовые залежи с элементами литологического экранирования.

Нефти апта и неокома нижнего мела близки юрским, плотность их 0,814–0,830. Нефти альбского яруса характеризуются повышенной плотностью 0,859–0,862.

Нефтеносность верхнемеловых отложений встречена на отдельных поднятиях и характеризуется теми же геологическими условиями, что и в Величаевско-Максимокумской зоне. Коллекторами являются трещиноватые

карбонатные породы маахстрихтского яруса на глубинах 2,4–2,6 км. Коллектор насыщен нефтью и водой.

Неразведанные ресурсы Озек-Суатской зоны оцениваются по нефти около 25 млн т (извлекаемые), свободного газа 3 млрд м³, основная часть которых связана с триасовыми, юрскими и нижнемеловыми отложениями. Верхнемеловые и палеогеновые ресурсы имеют подчиненное значение.

Сухокумская зона нефтегазонакопления связана с отложениями триаса, юры и нижнего мела. Здесь открыто 30 месторождений различного углеводородного состава: 12 нефтяных, 3 газонефтяных, 1 газовое, 10 нефтегазоконденсатных, 4 газоконденсатных. Начальные запасы газа 35,8 млрд м³ несколько преобладают над извлекаемыми запасами нефти 34,3 млн т. Запасы конденсата не превышают 2,0 млн т (извлекаемые).

Промышленная нефтеносность триаса связана с карбонатными отложениями нижнего (нефтекумская свита) и среднего триаса (анизийский ярус). Тип коллектора кавернозно-трещинный. С этими комплексами связаны 18 преимущественно нефтяных залежей на глубинах 4–4,8 км. Залежи пластового, сводового и массивного типов, небольших размеров. Покрышками являются внутрiformационные глины средне-нижнего триаса. Плотность триасовых нефтей колеблется от 0,806 до 0,835.

Юрские отложения характеризуются региональной нефтегазоносностью. Распределение залежей в комплексе связаны с песчано-алевролитовыми пластами нижней (VI–VII пачки), средней (V пачка) и верхней (II–III пачки) юры, залегающими на глубинах 3,2–3,9 км. Основными по продуктивности являются II, V, VI пачки. Нефтегазоносность других пластов ограничена вследствие литологической изменчивости пород по площади.

Залежи, в основном, газоконденсатно-нефтяные и газоконденсатные, пластово-сводовые, связанные с малоамплитудными ловушками небольших размеров. Наблюдаются также структурно-литологические типы залежей.

Юрские нефти лёгкие, характеризуются плотностью 0,816–0,855. Свободный газ по составу метановый 87,7–74,0%, содержание азота 1,6–2,6%, углекислого газа 4,2–9,1%, плотность 0,640–0,730. Конденсат имеет плотность 0,778–0,785.

Нефтегазоносность нижнего мела, как и в пределах Озек-Суатской зоны, связана с неокон-нижним аптом (VIII–XIII пачки) на глубинах 3,1–3,8 км. Для нижних пачек (X–XIII), карбонатно-терригенных по составу, характерно ограниченное по площади развитие коллекторов. Поэтому залежи УВ здесь не повсеместны. Основная продуктивность приурочена к VIII пачке нижнего апта и IX пачке баррема, которые имеют надёжную нижеаптскую глинистую покрышку. Общая картина размещения залежей по району довольно сложная. Наряду с чисто нефтяными, установлены нефтегазоконденсатные и газоконденсатные залежи.

Типы залежей нижнего мела разнообразны: пластовые сводовые,

структурно-литологические, литологические. Нижнемеловые нефти лёгкие, плотностью 0,817–0,845. Свободный газ метанового типа 82–64%, содержание азота 0,8–2,8%, углекислого газа 1,0–4,9%, плотность 0,683–0,794. Плотность конденсата 0,765–0,799.

Верхнемеловые и палеогеновые отложения в пределах Сухокумской зоны непродуктивны ввиду слабой контрастности структурных форм и отсутствием трещинных коллекторов в карбонатных и мергельно-глинистых породах.

Неразведанные ресурсы Сухокумской зоны оцениваются по нефти около 16 млн т. (извлекаемые), свободного газа 19 млрд м³ и прогнозируются в триасовых, юрских и нижнемеловых отложениях.

Выводы

По совокупности литофациальных, структурных признаков и глубинам залегания (5800–6000 м) ближайшие перспективы освоения крупных потенциальных ресурсов УВ подсолевого комплекса ТКПП связаны с зоной, охватывающей Назрановскую и Харбижинскую седловины и западные окончания Терской и Сунженской антиклинальных зон, западное окончание Советско-Правобережной зоны и погруженная часть Баксанской моноклинали.

Методика исследований с использованием сейсмических карт и карт эффективных толщин нефтегазоносных горизонтов оказалась вполне приемлемой для выявления антиклинальных и неантиклинальных объектов и оценки ресурсов (кат. D1л) в терригенных отложениях нижнего мела и нижней-средней юры.

Итогом работы является подготовка объектов для включения в программу лицензирования. Подготовлены объекты нераспределенного фонда (ТКПП Восточного Предкавказья) недр для включения в программу лицензирования. Составлено 12 пакетов геологической информации первоочередных перспективных объектов и даны рекомендации по проведению ГРП с целью их дальнейшего изучения.

По юрским отложениям с суммарными ресурсами 36339 тыс. т усл. УВ (нефть, св. газ, конденсат). По ТКПП – 1 участок с пятью объектами по юрским подсолевым карбонатным отложениям – 33251 тыс. т усл. УВ.

В VII пачке нижней юры (тоар) и III пачке средней юры (бажиганская свита – н. + ср. келловей) выявлено 2 объекта с суммарными ресурсами 2514 тыс. т усл. УВ.

Библиографический список

1. Борисенко Е.М. Шабатин И.В. Особенности геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности мезозойских отложений Ставропольского края. Ставрополь, 1967. 191–196 с.
2. Бурштар М.С. Закономерности размещения залежей нефти и газа на территории Северного Кавказа. Ессентуки, 1968. 137–138 с.
3. Калинин М.К. Тайны образования нефти и горючих газов. Москва, 1981. 192 с.
4. Королев В.Н. Области и зоны газоносности мезозойских отложений Северного Кавказа. Ессентуки, 1968. 149–150 с.
5. Летавин А.И. Геология фундамента Предкавказья. Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. Москва, 1987. 116–124 с.
6. Лопатин А.Ф. Перспективы поисков залежей нефти и газа в мезозое Предкавказья. Ессентуки, 1974. 263–264 с.
7. Лопатин А.Ф., Копыльцов А.И. Геологическая оценка перспектив нефтегазоносности юрской толщи Кавминводского выступа. Ессентуки, 1995. 167 с.
8. Онищенко Б.А., Сократов Б.Г., Туртуков Г.Я., Чепак Г.Н., Шапошников В.М. Проблемы поисков и разведки новых нефтяных залежей в Восточном Предкавказье. Ессентуки, 1980. 418–420 с.
9. Панченко А.П. Некоторые вопросы тектоники и металлогении юго-западного обрамления Русской платформы. Ессентуки, 1991. 101–103 с.
10. Панченко А.П. Новая мобилистская модель становления Кавказа. Ессентуки, 2000. 226–230 с.
11. Панченко А.П. Проблемы геологии и металлогении Большого Кавказа. Ессентуки, 2006. 130 с.
12. Потапенко Ю.Я. Стратиграфия и структура додевонских комплексов Северного Кавказа. Тбилиси, 1982. 168 с.
13. Сомин М.Л. Доюрское основание Главного хребта и Южного склона Кавказа. Москва, 1971. 246 с.
14. Талалаев В.Д., Меркулов А.В., Степанов А.Н. Некоторые результаты сверхглубокого бурения на нефть и газ в Предкавказье. Тезисы докладов V конф. по геол. и пол. иск. Сев. Кавказа. Ессентуки, 1980. 438–439 с.
15. Шелкопляс П.А., Дьяконов А.И. Новые данные о геологическом строении и перспективах нефтегазоносности мезокайнозоя южного борта Восточно-Кубанской впадины. Ессентуки, 1980. 414–416 с.

References

1. Borisenko E.M. Shabalin I.V. Osobennosti geologicheskogo stroeniya i otsenka perspektiv neftegazonosnosti mezozoiskikh otlozhenii Stavropolskogo kraja. (Works on Geology and mineral resources of the North Caucasus, issue XII), Stavropol 1967, 191–196 p.

2. Burster M.S. Zakonomernosti razmesheniya zalezhei nefiti I gaza na territorii Severnogo Kavkaza. (Abstracts of the III conference on Geology and mineral resources of the North Caucasus), Essentuki, 1968, 137–138 p.
3. Kalinko M.K. Tainy obrazovaniya nefiti I goryuchikh gazov. Moskva 1981, 192 p.
4. Korolev V.N. Oblasti I zony gazonosnosti mezozoiskikh otlozhenii Severnogo Kavkaza. (Abstracts of the III conference on Geology and mineral resources of the North Caucasus) Essentuki, 1968, 149–150 p.
5. Letawin A.I. Geologiya fundamenta Predkavkazya. Geologia I poleznye iskopaemye Bolshogo Kavkaza. Moskva 1987, 116–124 p.
6. Lopatin A.F. Perspektivy poiskov zalezhei nefiti I gaza v mezozoe Predkavkazya. (Abstracts of the IV conference on Geology and mineral resources of the North Caucasus). Essentuki, 1974, 263–264 p.
7. Lopatin A.F., Kopylov A.I. Geologicheskaya otsenka perspektiv neftegazonosnosti yurskoi tolshi Kavminvodskogo vystupa. (Proceeding of the VIII Anniversary conference on Geology and mineral resources of the North Caucasus). Essentuki, 1995. 167 p.
8. Onishchenko B.A., Socrates B.G., Tutukov G.Y., Chepak G.N., Shaposhnikov V.M. Problemy poiskov I razvedki novykh neftyanykh zalezhei v Vostochnom Predkavkaze. (Abstracts of the IV conference on Geology and mineral resources of the North Caucasus). Essentuki, 1980. 418–420 p.
9. Panchenko, A.P. Nekotorye voprosy tektoniki I metallogenii yugozapadnogo obramleniya Russkoi platform. (Abstracts of the regional VII conference on Geology and mineral resources of the North Caucasus). Essentuki, 1991. 101–103 p.
10. Panchenko A.P. Novaya mobilistskaya model stanovleniya Kavkaza. (Proceedings of the IX international conference), Essentuki, 2000. 226–230 p.
11. Panchenko, A.P. Problemy geologii I metallogenii Bolshogo Kavkaza. Essentuki, 2006. 130 p.
12. Potapenko, Yu.Ya. Stratigrafiya I struktura dodevonskikh kompleksov Severnogo Kavkaza. Tbilisi, 1982. 168 p.
13. Somyin M.L. Doyurskoe osnovanie Glavnogo khrebta I Yuzhnogo sklona Kavkaza. Moskva 1971. 246 p.
14. Talalaev V.D., Merkulov A.V., Stepanov A.N. Nekotorye rezultaty sverkhglubokogo bureniya nan eft I gaz v Predkavkaze. (Abstracts of the V conference on Geology and mineral resources of the North Caucasus). Essentuki, 1980. 438–439 p.
15. Shelkopyas P.A., Dyakonov A.I. Novye dannye o geologicheskom stroenii I perspektivakh neftegazonosnosti mezokainozaya yuzhnogo borta Vostochno-Kubanskoi vpadiny. (Abstracts of the V conference on Geology and mineral resources of the North Caucasus). Essentuki, 1980. 414–416 p.

УДК 550.832.553

Гасумов Р.А.
[Gasumov R.A.]

ВЫДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЛИНИСТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Selection and assessment of filtration-capacitive parameters for clay reservoirs

В статье рассмотрены вопросы о выделении и оценке фильтрационно-емкостных параметров глинистых коллекторов, обоснования нефтегазонасыщенной толщины и проницаемости коллекторов. Приведены результаты исследований, содержащих информацию о разнообразных свойствах глинистых пород нижнемайкопских отложений: пористость; объемный вес; известковистость; коэффициент гидрофобности, характеризующий физико-химические свойства поверхности; удельное электрическое сопротивление; интервальное время распространения упругих продольных волн. В соответствии с особенностями строения природного резервуара, с учетом результатов пробуренных скважин по их расположенности, выделены три категории участков для проведения поисковых работ. Изложены подходы по данным гидродинамических исследований, возможности определения численных значений параметров, характеризующих гидродинамические свойства скважин и пластов, а также определены особенности строения пластов (наличие неоднородностей, непроницаемых границ). Для количественной оценки параметров коллектора выбраны результаты гидродинамических исследований скважин и изучены индикаторные диаграммы; кривые восстановления давления, зарегистрированные на скважинах, имеют типичный вид, характерный для трещинно-порового коллектора.

Consideration is given to the selection and assessment of filter-capacitive parameters of clay reservoirs, substantiation of oil-gas-saturated thickness and permeability of reservoirs. The results of studies containing information on the various properties of clay rocks in Lower Maikop deposits are presented: porosity; volume weight; calcification; coefficient of hydrophobicity characterizing the physical and chemical properties of surface; specific electric resistance; interval time of propagation for elastic longitudinal waves. In accordance with the features of natural reservoir structure, taking into account the results of drilled wells, according to their location, three categories of plots for carrying out prospecting work are identified. The approaches are described according to the data of hydrodynamic studies, the possibility of determining the numerical values of the parameters characterizing the hydrodynamic properties of wells and formations, and also the features of their structure (heterogeneity, impermeable boundaries) are determined. The results of hydrodynamic well studies were selected and the indicator diagrams were studied to quantify the parameters of reservoir; the pressure recovery curves recorded have an appearance typical for fracture-pore type reservoir.

Ключевые слова: порода-коллектор, глинистые отложения, геологическое строение, пласт, скважина, трещиноватость, коллекторские свойства, кривая восстановления давления, гидрофобизация, приток нефти.

Key words: reservoir rock, clay deposits, geological structure, formation, well, fracturing, reservoir properties, pressure recovery curve, hydrophobization, oil inflow.

Введение

В основе оценки геологических запасов нефти, газа и конденсата лежит порода-коллектор, способная вмещать нефть, газ или воду и отдавать их при разработке в любых, даже незначительных, количествах. Выделение коллекторов реализуется по прямым качественным признакам или с использованием количественных критериев. При этом количественные критерии коллекторов назывались нижними, абсолютными либо абсолютными нижними пределами фильтрационно-емкостных свойств, геолого-геофизическими кондициями, абсолютными пределами запасов и т.п.

Другая группа количественных критериев основывается на информации о рентабельных или экономически целесообразных дебитах нефти и газа (техничко-экономические кондиции), которые зависят от коэффициентов извлечения углеводородов и минимальной эффективной толщины пласта. Однако, при подсчете геологических запасов выделение коллекторов по технико-экономическим критериям неправомерно.

Нельзя применять и способы выделения коллекторов, основанные на использовании любых величин дебитов, т.к. значения кондиционных пределов в этих способах изменяются во времени и различаются в зависимости от геологических особенностей разреза, то есть при постоянной депрессии один и тот же дебит можно получить при высокой проницаемости и малой толщине пласта либо при его низкой проницаемости и большой толщине. Следовательно, пласты с одинаковыми фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС) в разное время и в разных условиях могут быть отнесены к коллекторам и неколлекторам [1–3].

Материалы и методы исследования

Исследования основаны на анализе и обобщении информации о комплексе гидродинамических характеристик пласта (на примере нижнемайкопских глинистых отложений), изучении аналитических зависимостей между доступными для непосредственных измерений величинами (пластовые давления, температуры, притоки жидкости и т.д.), что позволяет определить численные значения параметров, характеризующих гидродинамические свойства скважин и пластов, особенности строения последних (наличие неоднородностей, непроницаемых границ).

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ палеогеографических условий осадконакопления показывает, что в пределах установленных полей нефтеносности часто на достаточно близком расстоянии отмечаются скважины с промышленными притоками нефти (25–100 м³/сут), низкодебитные (5–7 м³/сут), слабоприточные (0,01–1,5 м³/сут) и бесприточные. Результаты изучения трещиноватости глинистых пород свидетельствуют о том, что в разрезе нижнего майкопа существ-

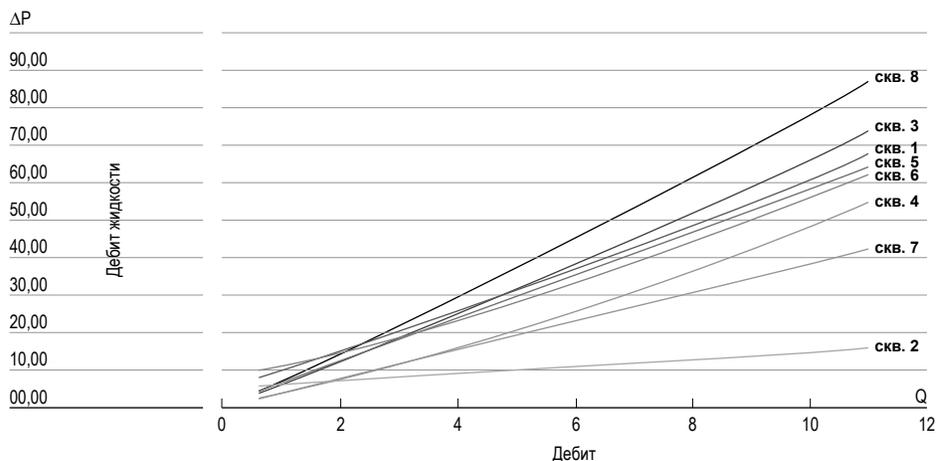


Рис. 1. Индикаторные кривые исследования скважин.

вуют отдельные интервалы с удовлетворительной емкостью (до 7 %) и высокой проницаемостью (до $534955,3 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$).

По результатам экспериментальных исследований среди величин, содержащих надежную и наиболее полную информацию о разнообразных свойствах глинистых пород, можно выделить: пористость; объемный вес; известковистость; коэффициент гидрофобности; удельное электрическое сопротивление; интервальное время распространения упругих продольных волн.

Результаты исследований показали, что количество связанной и свободной нефти в глинистом коллекторе нижнемайкопских отложений находится в прямой зависимости, во-первых, от физико-химического состояния поверхности, во-вторых, от коллекторских свойств пород. Выявлена достаточно четкая зависимость количества воды, связанной с поверхностью глинистых пород в условном монослое, от коэффициента гидрофобности. По мере увеличения степени гидрофобизации поверхности емкость условного монослоя уменьшается по гиперболическому закону. Четко демонстрируется зависимость количества воды в монослое от физико-химического состояния и структуры пустотного пространства коллектора листового типа [1, 2, 4, 5].

Гидродинамические исследования скважин проводились в различное время при разных пластовых давлениях (что так же создает проблемы при оценке энергетического состояния залежи). Использовать результаты этих исследований можно только для качественной оценки параметров пласта – коллектора [6–9].

На рис. 1 представлены индикаторные кривые гидродинамических исследований скважин. Эффективная толщина пласта при расчете проницаемости определена по результатам определения профилей притока на скважинах (табл. 1), и принята равной 7,5 м. Средняя проницаемость пласта равна $3,62 \cdot 10^3 \text{ мкм}^2$.

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ИНДИКАТОРНЫХ КРИВЫХ ПО СКВАЖИНАМ

№ скв.	Водопроницаемость, $k_{ф}h$, м ² /сут	Гидропроницаемость, мкм ² · см/мПа · с	Проницаемость, × 10 ³ мкм ²
1	0,024	2,795	2,236
2	0,126	14,82	11,88
3	0,029	3,47	2,776
4	0,034	3,99	3,192
5	0,019	2,27	1,816
6	0,034	4,03	3,224
7	0,029	3,47	2,776
8	0,016	1,89	1,512
9	0,034	3,96	3,168

Для количественной оценки параметров коллектора выбраны результаты гидродинамических исследований скважин и составлены индикаторные диаграммы. Кривые восстановления давления (КВД), зарегистрированные на скважинах, имеют типичный вид, характерный для трещинно-порового типа коллектора. На КВД выделяются три характерных прямолинейных участка.

Первый линейный участок отражает процесс восстановления давления в проводящей среде (проводящая среда – трещинная система коллектора, обладающая высокой проводимостью и низкой пористостью) [2, 6]. Второй участок отражает процесс перераспределения давления между проводящей и питающей системами (питающая система – матрица породы, обладающая высокой пористостью и низкой проницаемостью). Третий участок соответствует окончательному восстановлению давления в питающей системе.

Для обработки КВД в трещинно-поровом коллекторе наиболее целесообразно применять метод Полларда [6–9]. Эта модель рассматривает депрессию из трех составляющих: перепад между пластовым давлением и давлением в матрице пласта; перепад между давлением в матрице и в трещинной системе пласта; перепад давления между трещинной системой пласта и прискважинной зоной. По соотношению составляющих депрессии рассчитывается коэффициент динамической емкости, который позволяет оценить долю пустотности, приходящуюся на трещинную систему пласта. Определяется соотношение первичной (межгранулярной) и вторичной (трещинной и кавернозной) пористости. Кроме того, метод Полларда дает оценку истинной проницаемости трещин, величины скин-эффекта и коэффициента заканчивания скважины. Для определения модели пласта и режима фильтрации в послед-

нее время практикуют построение графиков давления и производной давления в билогарифмических координатах.

Для дифференцирования КВД применяется специальный алгоритм с переменной степенью сглаживания, что позволяет регулировать степень сглаживания и получать не зашумленные и неискаженные кривые производной при различных временных интервалах и качестве замеров давления. Также можно оперативно исключить из расчетов отдельные недостоверные точки или участки кривых. Такие интерактивные манипуляции позволяют получить качественную кривую производной [6–11].

Производная вычисляется как по логарифму времени, так и по суперпозиции времен Хорнера, позволяя, таким образом, оценить возможность применения того или иного метода интерпретации. По горизонтальному участку на кривой производной определяют время начала режима линейного радиального потока: именно этот участок нужно использовать при обработке КВД. Отсутствие такого участка (недовосстановленная КВД) свидетельствует о необходимости учета эффекта «послепритока» в ствол скважины после её закрытия (рис. 2).

Модель Полларда сводит задачу к простому процессу расширения жидкости, однако в некоторых случаях дает приемлемые результаты и позволяет рассчитать ряд параметров трещиновато-пористого коллектора, в частности, объемы матрицы и трещин, пористости матрицы и трещин [6, 7]. Методика позволяет качественно оценить такие параметры, как трещинную проницаемость, истинную проницаемость трещин, раскрытость трещин, размер блоков. Основные параметры определяются как: объем матрицы; объем трещин; пористость матрицы; пористость трещин. Дополнительные параметры определяются как: коэффициент продуктивности; трещинная проницаемость, где μn – вязкость нефти, h – толщина пласта; истинная проницаемость трещин; скин-эффект. Пример расчета параметров пласта по методу Полларда результаты обработки КВД для скважины представлены в табл. 2.

Результаты расчетов и исследований позволяют уточнить петрофизическую модель коллекторов нижнемайкопских отложений:

- эффективную нефтенасыщенную толщину для конкретной площади следует обосновывать по данным исследования профиля притока скважин, данным термометрии и акустического каротажа: средняя эффективная нефтенасыщенная толщина, определенная по данным исследования профиля притока, равна 7,5 м;
- вторичная пористость пород-коллекторов колеблется в пределах 1,7–2,5 %;
- насыщение свободной нефтью составляет в среднем 15,0 % от открытой пористости;
- по геолого-геохимическим данным пласты-коллекторы

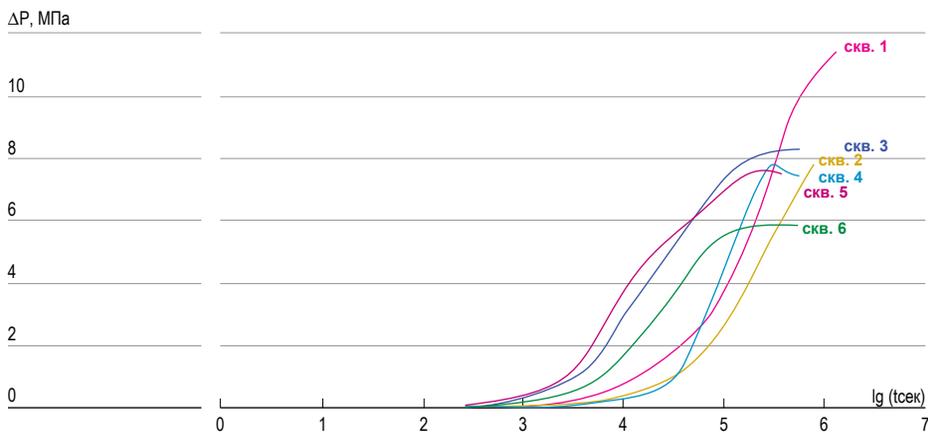


Рис. 2. Результаты регистрации КВД по скважинам.

- представлены аргиллитоподобными глинами, породы-коллекторы сложены горизонтально-ориентированными тонкими, ровными, иногда линзовидными листочками, налегающими друг на друга, и разбиты сетью горизонтальных (58,5 %), наклонных (31,3 %) и вертикальных (10,2 %) трещин, в которых сосредоточены основные объемы нефти;
- коллектор отличается от неколлектора повышенными значениями общей пористости (до 16,27 %) и пониженными значениями плотности (2,35–2,4 г/см³);
 - остаточная водонасыщенность глин по массовым определениям изменяется в относительно узких пределах (70–85 %);
 - среднее значение проницаемости коллектора равно $5,23 \cdot 10^3$ мкм², гидропроводность 3,39 мкм².см/МПа.с, водопроводимость 0,044 м²/сут, коллектор относится к трещинно-поровому типу.

Выделение зон разуплотнения по данным динамического анализа волнового поля методом общей глубинной точки выполнено по восьми сейсмическим профилям сейсмических партий. Преимущественно на всех проанализированных профилях выделяются малоамплитудные тектонические нарушения, которые фиксируются в отложениях хадума в виде сбросов. Выше их прослеживается зона разуплотненных пород (повышенной трещиноватости), характерной особенностью которой является выраженность в форме столбчатой трещиноватости [12–15].

Таблица 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ КВД НА СКВАЖИНАХ (ПО МЕТОДУ ПОЛЛАРДА)

№ скв	Дебит жидкости, м ³ /сут	Депрессия на пласт, МПа	Коэффициенты кривой			Объем дренирования, м ³		Средняя раскрытость трещин в пласте, мкм	Средний межтрещинный интервал, см	Проницаемость × 10 ³ мкм ²
			Ar	Cr	Dr	матрицы	трещин			
1	3,254	11,39	115,1	100	5,2	4383,3	1,9	439,39	12,23	5,77
2	29,21	6,68	62,1	35,5	30,5	126808,1	88,3	433,55	8,0	8,86
3	10,66	8,28	82,4	58,9	25,4	4304,4	9,3	163,02	0,93	3,88
4	4,84	12,31	76,5	70,8	1,8	7947,2	2,7	1037,73	37,31	24,9
5	14,47	7,66	75,7	41,7	35,6	8927,3	32,3	123,94	0,42	3,75
6	6,5	5,86	58,2	53,0	8,8	2244,1	10,9	144,22	0,36	6,83

В скважинах, давших притоки нефти, продуктивные интервалы приурочены к зонам трещиноватых аргиллитоподобных листоватых глин. Освоение скважин проводилось по стандартной методике путем снижения плотности раствора, заполняющего скважину, водой с последующей аэризацией. Лишь единичные скважины осваивались без применения дополнительной интенсификации притока проведением нефтекислотных ванн и солянокислотной обработки продуктивного пласта. Остальные скважины требовали двух или трехкратной обработки. В ряде скважин, пробуренных на исследуемом участке, после многократной обработки пласта притоков получено не было. Вероятно, эти скважины находятся в зонах уплотненных глин, не имеющих зон трещиноватости. Возможно, из-за глубокого проникновения фильтра бурового раствора в процессе бурения скважин в зоны с более высокой степенью трещиноватости проводимых операций по интенсификации притока недостаточно и необходимо проводить более действенные операции, например, гидравлический разрыв пласта (ГРП). Однако следует отметить, что ГРП (песконоситель – вода с 0,2 % дисольваном), проводившийся в некоторых скважинах, не только не дал необходимого результата, но и дебит после его проведения значительно снизился. Вероятно, от воздействия воды глинистые породы продуктивного пласта разбухли, что привело к смыканию имеющихся трещин [2, 3, 5, 16].

Известно, что фильтрат бурового раствора при первичном вскрытии значительно снижает проницаемость продуктивных пластов. Особенно значительное снижение продуктивности скважин происходит при большом радиусе проникновения фильтра бурового раствора.

Для условий первичного вскрытия продуктивных трещиноватых пластов величина зоны проникновения фильтрата оценена согласно методике, изложенной в работах [7, 8].

Приведенные расчеты показывают, что при первичном вскрытии нижнемайкопских отложений фильтрат бурового раствора проникает в пласт на расстояние около 7 м. Это свидетельствует о том, что, если при первичном вскрытии нетрадиционных трещинных глинистых коллекторов тонкого и частого чередования в отложениях применять вскрытие их на депрессии или равновесии, то можно получить объективную картину о положении в разрезе нефтенасыщенных и водонасыщенных пропластков.

Внедрение воды в условиях проявления упруговодонапорного режима происходило по вертикальным трещинам. Установлена логарифмическая зависимость подъема водонефтяного контакта (ВНК) от отборов нефти, коэффициент корреляции составил 0,9862. Выявленная зависимость позволяет прогнозировать подъем ВНК. Установлено, что основным источником поступления вод при разработке нефтяного месторождения являются пластовые подошвенные и законтурные воды. Имеется основание предполагать, что в скважинах, находящихся внутри контура нефтеносности, источником поступления воды является вышележащий водоносный термальный пласт. При эксплуатации скважин следует обратить особое внимание на возможность обводнения скважин за счет поступления воды из верхних водоносных пластов [4, 16–18].

Характерной особенностью гидродинамики седиментационного бассейна исследуемого района, по сравнению с инфильтрационным, является движение пластовых вод из глубоко погруженных зон к периферийным участкам впадин. В условиях постоянного возрастания геостатического давления поровая вода выжимается из них в трещиноватые породы-коллекторы [4, 17]. В связи с изоляцией седиментационного бассейна в нем были созданы избыточные напоры, которые обеспечивают движение пластовых вод и транспортировку ими углеводородов из осевых частей прогиба и впадины к периферийным зонам.

Имеющиеся данные позволяют определить направление, скорость и расход потока седиментационных вод. Пластовые воды относятся к зоне весьма затрудненного водообмена, характеризующейся аномально-высокими пластовыми давлениями (АВПД). Движение седиментационных вод происходит по направлению с востока на запад. Анализ фактического материала по испытанию скважин, данные по разработке площади показали, что залежи обводняются сначала в условиях упругого, а затем упруговодонапорного режима.

Выводы

В результате анализа теоретических данных и практического опыта исследований установлено, что нефтяное месторождение приурочено к гидродинамической ловушке, то есть соответствует классической модели. Анализ результатов испытания многочисленных скважин показывает, что структурно-литологическая водоплавающая нефтяная залежь в северной части контролируется замещением трещиноватых коллекторов глинистыми аргиллитами, в юго-западной и восточной части площади водонефтяным контактом, проведенным по результатам испытания скважин. Можно предполагать, что режим разработки залежи при отборе нефти на начальном этапе будет обеспечиваться за счет упругоэластичности гидродинамической системы и далее за счет внедрения законтурных и подошвенных пластовых вод [4, 18].

Определение зон активного внедрения пластовых вод основывается на анализе процесса пробной эксплуатации, в результате которого установлены следующие основные положения:

- одинаковые пластовые давления свидетельствует о принадлежности площадей к единому месторождению;
- падение пластового давления в гидродинамической системе месторождения зависит от объемов отбора нефти и поступления пластовой воды из законтурной области.

Прямым качественным признаком наличия коллектора является проникновение фильтрата бурового раствора в пласт, способного реагировать на наличие глинистой или шламовой корки на стенке скважины. Прямым признаком коллектора является приток пластовой жидкости или газа, полученный из пласта при испытании. В то же время, отсутствие притока, при благоприятной геофизической характеристике, не является достаточным основанием для отнесения пласта к неколлекторам. В таких случаях требуется проведение дополнительных или повторных исследований.

Выделение и оценка фильтрационно-емкостных параметров глинистых коллекторов, определение их численных значений, характеризующих гидродинамические свойства скважин и пластов, можно определить с учетом особенности их строения (наличие неоднородностей, непроницаемых границ), что позволяет оценить геологические запасы нефти в коллекторе, и возможность их извлечения при разработке месторождений. Выделение коллекторов реализуется по прямым качественным признакам или с использованием количественных критериев.

Библиографический список

1. Гасумов Р.А. Риски при бурении поисково-разведочных скважин в осложненных горно-геологических условиях // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2014. №9. С. 26–30.
2. Гасумов Р.А. Обработка продуктивного пласта с низкой приемистостью при освоении малых месторождений (на примере газоконденсатного месторождения Северного Кавказа // Нефтепромысловое дело. 2018. №1. С. 5–11.
3. Гасумов Р.А. Влияние геологических факторов на качество крепления глубоких скважин (на примере Восточно-Прибрежной площади) / Р.А. Гасумов, С.Б. Бекетов, А.-Г.Г. Керимов, В.В. Федоренко, Б.Ф. Галай // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2018. №1. С. 12–15.
4. Гаттенберггер Ю.П. Гидрогеология и гидродинамика подземных вод. М.: Недра, 1971. 184 с.
5. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dynamic Analysis. The theory and practice of Pressure Transient, Production Analysis, Well Performance Analysis, Production logging and the use of Permanent Downhole Gauge data. Sophia Antipolis, France: KAPPA, 2011. 414 p.
6. Методическое руководство по гидродинамическим исследованиям сложноэкранированных залежей. М., 1983.
7. Хисамов Р.С. Гидродинамические исследования и методы обработки результатов измерений / Р.С. Хисамов, Э.И. Сулейманов, Р.Г. Фархуллин, О.А. Никашев, А.А. Губайдуллин, Р.К. Ишкаев, В.М. Хусаинов. М.: ВНИИОЭНГ, 2000. 228 с.
8. Earlougher R.C. Jr.: Advances in Well Test Analysis. SPE Monograph. 2003. 512 p.
9. Камартинов М.Р. Гидродинамические исследования скважин: Анализ и интерпретация данных // М.Р. Камартинов, Т.Е. Кулагина. Томск, 2010. 301 с.
10. Tarek Ahmed, Paul D. McKinney. Advanced reservoir engineering. [electronic resource]. Boston Gulf Professional Pub, 2000. 407 p.
11. Гасумов Р.А. Геологические факторы, влияющие на качество крепления скважин (на примере конкретной скважины Прибрежной группы месторождений) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. №12. С. 48–53.
12. Гасумов Р.А. Особенности разработки малых месторождений (на примере газоконденсатных месторождений Северного Кавказа) // Записки Горного института. 2016. Т. 220. С. 556–563.
13. Гасумов Р.А. Особенности строительства глубоких скважин в осложненных горно-геологических условиях Предкавказья / Р.А. Гасумов, В.Г. Копченков, В.Т. Лукьянов, Н.Г. Федорова, С.Н. Овчаров // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 3. С. 109–118.
14. Гасумов Р.А. Влияние геомеханических свойств пласта на успешность геолого-технических мероприятий разработки место-

- рождений Восточного Предкавказья / Р.А. Гасумов, С.В. Нелепов, М.В. Нелепов, В.Г. Копченков, С.Б. Бекетов, В.И. Петренко, В.В. Федоренко, С.А. Дудаев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 11. С. 59–65.
15. Gao Changhong, Rajeswaran T., Nakagawa Edson. A literature review on smartwell technology [electronic resource] // 2007 SPE Production and Operations Symposium.
 16. Майдебор В.Н. Особенности разработки нефтяных месторождений с трещиноватыми коллекторами. М.: Недра, 1980. 288 с.
 17. Going W.S., Thigpen B.L., Chock P.M. et al. Intelligent – Well Technology: Are We ready for Closed-Loop Control? [electronic resource] // 2006 SPE Intelligent Energy Conference and Exhibition.
 18. Joshi S.D. Horizontal Well Technology. Penn Well Book. Tulsa, Oklahoma, 1991. 535 p.

References

1. Gasumov R.A. Riski pri burenii poiskovo-razvedochnyh skvazhin v oslozhnennyh gorno-geologicheskikh usloviyah (Risks while prospecting and exploration wells drilling in complicated mining and geological conditions) // Problemy jekonomiki i upravlenija neftegazovym kompleksom. 2014. № 9. S. 26–30.
2. Gasumov R.A. Obrabotka produktivnogo plasta s nizkoj priemistost'ju pri osvoenii malyh mestorozhdenij (na primere gazokondensatnogo mestorozhdenija Severnogo Kavkaza) (Low injectivity productive formation treatment in the development of small deposits (by example of the North Caucasus gas condensate field)) // Neftepromyslovoe delo. 2018. № 1. S. 5–11.
3. Gasumov R.A. Vlijanie geologicheskikh faktorov na kachestvo krepnenija glubokih skvazhin (na primere Vostochno – Pribrezhnoj ploshhadi) (Influence of geological factors on the quality of deep wells stabilization (by example of Vostochno-Pribrezhnaya area)) / R.A. Gasumov, S.B. Beketov, A.-G.G. Kerimov, V.V. Fedorenko, B.F. Galaj // Stroitel'stvo nef tjanyh i gazovyh skvazhin na sushe i na more. 2018. № 1. S. 12–15.
4. Guttenbecker Y.P. Hydrogeology and hydrodynamics of groundwater. Moscow: Nedra, 1971. 184 p.
5. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dynamic Analysis. The theory and practice of Pressure Transient, Production Analysis, Well Performance Analysis, Production logging and the use of Permanent Downhole Gauge data. Sophia Antipolis, France: KAPPA, 2011. 414 p.
6. Metodicheskoe rukovodstvo po gidrodinamicheskim issledovanijam slozhnojekranirovannyh zalezhej (Methodical guidelines for hydrodynamic studies of complex shielded deposits). М., 1983.
7. Hisamov R.S. Gidrodinamicheskie issledovanija i metody obrabotki rezul'tatov izmerenij (Hydrodynamic studies and methods for processing the results of measurements) / R.S. Hisamov, Je.I. Sule-

- jmanov, R.G. Farhullin, O.A. Nikashev, A.A. Gubajdullin, R.K. Ishkaev, V.M. Husainov. M.: OAO «VNIIOJeNG», 2000. 228 s.
8. Earlougher R.C. Jr.: Advances in Well Test Analysis. SPE Monograph. 2003. 512 p.
 9. Kamartdinov M.R. Gidrodinamicheskie issledovaniya skvazhin: Analiz i interpretacija dannyh (Hydrodynamic studies of wells: Analysis and interpretation of data) // M.R. Kamartdinov, T.E. Kulagina. Tomsk, 2010. 301 p.
 10. Tarek Ahmed, Paul D. McKinney. Advanced reservoir engineering. [electronic resource]. Boston Gulf Professional Pub, 2000. 407 p.
 11. Gasumov R.A. Geologicheskie faktory, vlijajushhie na kachestvo kreplenija skvazhin (na primere konkretnoj skvazhiny Pribrezhnoj grupy mestorozhdenij) (Geological factors affecting the quality of wells stabilization (using the example of a particular well of the Pribrezhnaya group deposits) // Geologija, geofizika i razrabotka neftjanyh i gazovyh mestorozhdenij. 2014. № 12. S. 48–53.
 12. Gasumov R.A. Osobennosti razrabotki malyh mestorozhdenij (na primere gazokondensatnyh mestorozhdenij Severnogo Kavkaza) (Features of small deposits development (by the example of North Caucasus gas condensate deposits) // Zapiski Gornogo instituta. 2016. T. 220. S. 556–563.
 13. Gasumov R.A. Osobennosti stroitel'stva glubokih skvazhin v oslozhnennyh gorno-geologicheskikh uslovijah Predkavkaz'ja (Features of the construction of deep wells in the complicated mining and geological conditions of the Ciscaucasia) / R.A. Gasumov, V.G. Kopchenkov, V.T. Luk'janov, N.G. Fedorova, S.N. Ovcharov // Nauka. Innovacii. Tehnologii. 2017. № 3. S. 109–118.
 14. Gasumov R.A. Vlijanie geomechanicheskikh svojstv plasta na uspešnost' geologo-tehnicheskikh meroprijatij razrabotki mestorozhdenij Vostochnogo Predkavkaz'ja (The influence of geomechanical reservoir properties on the success of geological and engineering measures for the development of deposits in the Eastern Ciscaucasia) / R.A. Gasumov, S.V. Nelepov, M.V. Nelepov, V.G. Kopchenkov, S.B. Beketov, V.I. Petrenko, V.V. Fedorenko, S.A. Dudaev // Geologija, geofizika i razrabotka neftjanyh i gazovyh mestorozhdenij. 2017. № 11. S. 59–65.
 15. Gao Changhong, Rajeswaran T., Nakagawa Edson. A literature review on smartwell technology [electronic resource] // 2007. SPE Production and Operations Symposium.
 16. Majdebor V.N. Osobennosti razrabotki neftjanyh mestorozhdenij s treshhinovymi kollektorami (Features of fractured oil fields development). M.: Nedra, 1980. 288 s.
 17. Going W.S., Thigpen B.L., Chock P.M. et al. Intelligent – Well Technology: Are We ready for Closed-Loop Control? [Electronic resource] // 2006 SPE Intelligent Energy Conference and Exhibition.
 18. Joshi S.D. Horizontal Well Technology. Penn Well Book. Tulsa, Oklahoma, 1991. 535 p.

УДК 911.2

**Диденко П.А. [Didenko P.A.],
Водопьянова Д.С. [Vodopyanova D.S.],
Скрипчинская Е.А. [Skripchinskaya E.A.]**

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ К АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКЕ

**Assessment of landscape sustainability
of Stavropol Region to anthropogenic load**

В статье рассматриваются вопросы современного состояния, степень антропогенной нагрузки и устойчивость к ней ландшафтов Ставропольского края с использованием балльного метода. На примере ландшафтов Ставропольского края проведена оценка антропогенной нагрузки, определена площадь земель со средо- и ресурсостабилизирующими функциями, рассчитана степень устойчивости ландшафтов к антропогенному воздействию, которая позволит решить задачи по эффективности сельского хозяйства на изучаемой территории. Полученные результаты позволят скорректировать подходы к планированию систем землепользования.

In article are considered questions of the modern state, the degree of anthropogenic load and resistance to her landscapes of the Stavropol Region using a scoring method. For example, the landscapes of Stavropol Region the evaluation of anthropogenic load, defined area of lands with the targeted – environmental and resursosnabzhayuschimi functions, calculated the degree of resistance of landscapes to anthropogenic influence, which will allow to solve the problem of the efficiency of agriculture in the study area. The obtained results will allow to adjust the approaches to planning land-use systems.

Ключевые слова: природно-антропогенный ландшафт, антропогенная нагрузка, устойчивость, геосистема, экологическое равновесие, агроландшафт, балльный метод, экологический фонд, эколого-хозяйственный баланс.

Key words: natural-anthropogenic landscape, anthropogenic pressure, sustainability, geosystems, ecological balance, economic policies, scoring method, environmental Fund, ecological-economic balance.

Введение

Разработка проблем, связанных с устойчивым развитием, с организацией сбалансированных экологически стабильных геосистем имеет важное практическое значение: зная реальное состояние системы можно предотвратить нарушение устойчивого функционирования. Важнейшим условием формирования оптимально организованных природно-антропогенных ландшафтов является учет их устойчивости к различным видам антропогенного воздействия. Каждая из стадий освоения природных комплексов отличается видами, интенсивностью, уровнями воздействия и степенью их преобра-

зования [Исаченко, 1990]. Объектами антропогенного воздействия являются практически все элементы природной среды, в том числе: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвенный и растительный покров, биотические комплексы, то есть происходит комплексное воздействие на все компоненты геосистем.

В сложившейся ситуации важно с позиций концепции устойчивого развития выбрать оптимальный вариант хозяйственного использования территории. При этом следует исходить не из экономических показателей, включающих лишь стоимостную оценку прямого ущерба, а из эколого-экономических, учитывающих показатели устойчивости ландшафтов к техногенному воздействию и те пределы такого воздействия, за которыми изменения геосистем становятся необратимыми.

Помимо экологической обоснованности технических решений, при разработке конструктивных особенностей проектируемых объектов должны учитываться природные динамические тенденции и потенциальные возможности самовосстановления природных экосистем [Солнцева, 1983]. Следовательно, выбору принципиальных производственных технологических схем и разработке конкретных технических решений должны предшествовать детальное изучение природных условий и оценка естественной устойчивости природных комплексов в районе предполагаемого размещения проектируемых объектов. Условием экологической стабильности необходимо считать соответствие уровней техногенного воздействия потенциалу устойчивости экосистем [Устойчивость южно-таёжных биогеоценозов..., 1998]. В идеальном случае полная оценка факторов техногенного преобразования природной среды при хозяйственной деятельности должна отражать количественные уровни воздействия. Кроме того, она должна основываться на комплексном подходе, предполагающем определение нагрузок на все компоненты экосистем с учётом эффектов суммации, аккумуляции и последующих цепных реакций, поскольку оценка воздействий на отдельные компоненты, даже являющиеся ведущим фактором природного хода сукцессии, не позволяет обнаружить полный размах эффектов взаимодействия.

Экологическое равновесие в современных природно-сельскохозяйственных геосистемах (агроландшафтах) определяется наличием разнообразных типов сельскохозяйственных угодий, сочетающихся с естественными биогеоценозами. Давно известно, что сохранение природных естественных участков, оптимальное соотношение пашни, лесов, кормовых и других угодий способствуют повышению стабильности и продуктивности агроландшафтов и устойчивости природных систем в целом, препятствуют развитию нежелательных процессов [Докучаев, 1951; Реймерс, 1994]. Природные территории оказывают компенсирующее влияние на упрощённые сельскохозяйственные угодья и являются местом обитания животных и птиц, полезных в борьбе с вредителями посевов. Показатель разнообразия является одним

из основных критериев природообустройства ландшафтов, так как он интегрально отражает экологическое состояние территории как с точки зрения ее видового разнообразия, так и с точки зрения наличия геохимических барьеров [Бунина, Шабанов, 2005].

В XX веке и особенно со второй его половины в обществе усилилось внимание к устойчивому развитию природы и общества. Определённый вклад в развитие понятия устойчивости внёс Н.Ф. Реймерс [1978, 1990, 1994]. Он под устойчивостью геосистемы понимает её способность сохранять свою структуру и функциональные особенности при воздействии внешних (и внутренних) факторов [Реймерс, 1990, Реймерс, 1994]. Понятие устойчивости геосистем базируется на представлениях о динамическом равновесии как формы их существования. В оценке устойчивости используются свойства пластичности, инертности, буферности, т.е. способность геосистем сохранять структурно-функциональное ядро в изменяющихся условиях среды и возвращаться в исходное состояние. Устойчивость обеспечивает обратимые, преимущественно циклические процессы, проявляющиеся в стабилизирующей динамике и в способности к восстановлению после снятия нагрузок.

Значительный опыт в изучении устойчивости геосистем накопили Ю.С. Захаров, С.В. Кулинская (1990), Н.П. Бунина, В.В. Шабанов (2005), В.Е. Синещеков, А.И. Южаков (2005), И.В. Орлова (2007). Особый интерес представляет работа Д.Л. Арманда, А.А. Величко, М.Е. Виноградова и др. (1992), в которой разрабатываются вопросы теории устойчивости географических систем и даётся обзор конкретных проявлений свойств самосохранения для объектов климатического, геоморфологического, гляциологического, фитоценологического, социально-географического и др. ряда. Особое внимание ими обращено на способность геосистем противостоять антропогенным нарушениям.

Во многих работах понятие устойчивости геосистем базируется на представлениях о динамическом равновесии как формы их существования [Реймерс, Штильмарк, 1978, Синещеков, Южаков, 2005, Орлова, 2007, Диденко, 2010]. Поэтому в некоторых работах понятие «устойчивого» заменяется понятием «сбалансированного» развития [Котляков, Глазовский, Руденко, 1997; Мирцхулава, 2003].

Материалы и методы исследований

В большинстве предложенных методик по определению устойчивости природных систем одним из главных ее критериев выступает величина биомассы. Чем больше биомасса и ее разнообразие, тем выше устойчивость системы. Альтернативным методом определения устойчивости при-

родных и антропогенных систем является прямое измерение соотношения использованной растениями лучистой энергии к общей массе поглощенной на этой территории энергии.

Во многих работах по оценке устойчивости природной среды применяется балльный метод [Сидоров, 2002]. Этот способ, несмотря на всю субъективность, позволяет получить интегральные оценки геосистем. Поскольку другого метода пока еще в ландшафтоведении не предложено, мы придерживаемся именно этого направления. Для устойчивого, сбалансированного развития природно-антропогенных геосистем, обеспечивающих возможность существования природы и общества в состоянии равновесия необходима научно обоснованная стратегия развития. Выбор стратегии, которая бы равнозначно учитывала экологические, экономические и социальные критерии, позволит сформировать оптимально сбалансированный агроландшафт с заданными параметрами функционирования. Такие параметры уже разработаны (табл. 1), а их внедрение на практике позволило бы снизить интенсивность деградационных процессов. Изменение параметров определяет состояние агроландшафта и риск ожидаемых опасностей.

В результате комплексного изучения сформировавшихся в крае природно-антропогенных ландшафтов, удалось провести их классификацию по степени уязвимости к антропогенному воздействию и получить балльную оценку каждого из выделенных ландшафтов. Это позволило оценить степень потенциальной устойчивости в количественных показателях. Каждому антропогенному воздействию или их совокупности соответствует свой предел устойчивости природных и природно-антропогенных ландшафтов. Чем разнообразнее ландшафт, тем он более устойчив. Выражается это прежде всего большим количеством и равномерным распределением естественных биогеоценозов: урочищ, природоохраняемых зон и особо охраняемых территорий, совокупная площадь которых составляет экологический фонд (ЭФ) территории. Чем он больше, тем выше устойчивость ландшафта.

Уровень устойчивости территории зависит от распределения земель по степени антропогенной нагрузки (табл. 1). Земли, характеризующиеся высокой степенью антропогенной нагрузки (АН), имеют низкую естественную защищенность. Если принять земли, входящие в экологический фонд с минимальной АН за P1, то площади земель с условной оценкой степени АН в 2, 3, 4 балла будут составлять 0,8 P2, 0,6 P3, 0,4 P4 (земли с самым высоким баллом АН в расчет не принимаются) (Кочуров, Иванов, 1997). Таким образом, получить суммарную площадь земель со средо- и ресурсостабилизирующими функциями (Pсф) можно по следующей формуле:

$$P_{сф} = P_1 + 0,8P_2 + 0,6P_3 + 0,4P_4$$

Таблица 1.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЙ ПО СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Виды землепользований	Степень антропогенной нагрузки	Балл
Естественные и природоохранные комплексы	Очень низкая	1
Сенокосы	Низкая	2
Пастбища	Средняя	3
Многолетние насаждения	Высокая	4
Пашня, селитба	Высшая	5

Если соотнести площадь земель $P_{сф}$ к общей площади ландшафта $P_о$, то мы получим коэффициент устойчивости (K_y):

$$K_y = \frac{P_{сф}}{P_о}$$

Данный подход отражает степень сбалансированности природной и антропогенной подсистем в ландшафте (ЭХБ). Эколого-хозяйственный баланс (ЭХБ) территории – это сбалансированное соотношение различных видов использования территории и поддержания равновесного состояния потоков вещества и энергии, что обеспечивает устойчивость ландшафтов и воспроизводство природных (возобновимых) ресурсов и не вызывает экологические изменения в природе [Кочуров, Иванов, 1997].

Результаты исследований и их обсуждение

Сельское хозяйство традиционно является одной из важнейших отраслей специализации Ставропольского края. Как фактор воздействия на устойчивость, оно имеет много форм своего проявления: распашка естественных земель, развитие мелиоративных мероприятий, широкое использование мощной сельскохозяйственной техники, минеральных удобрений и ядохимикатов, увеличение плотности с/х животных и т.д. Все они приводят

Таблица 2. СТРУКТУРА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛАНДШАФТАХ ЛЕСОСТЕПНОЙ
ПРОВИНЦИИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Ландшафт	Площадь, %					
	Естествен- ные комплексы	Сенокосы	Пастбища	Многолет- ние насаждения	Пашня	Селитьба
Верхне- егорлыкский	14	3	23,5	0,5	49	10
Ташлянский		0,6	12	0,6	79,5	6,3
Грачевско- Калаусский	1	2,2	27,2	0,3	66,5	2,8
Прикалаусско- Саблинский	2	0,5	24,5	0,5	66	7
Прикалаусско- Буйволинский	3,6	1	17	2,7	70	5,7

к негативным процессам, в частности, развитию эрозии и засолению почв, уменьшению содержания в них гумуса. Интенсивное сельскохозяйственное воздействие в сочетании с экстенсивным способом расширенного воспроизводства (освоение целинных и залежных земель) создало условия для проявления сильных пыльных бурь.

В пределах равнинной части Ставропольского края выделяются ландшафты лесостепной, степной и полупустынной провинций [Шальнев, 1995; 2004; Современные ландшафты..., 2002]. В результате длительного хозяйственного освоения в ландшафтах Ставропольского края сформировались следующие виды сельскохозяйственного землепользования: пашня, кормовые естественные угодья, многолетние насаждения (табл. 2–4). Средостабилизирующую функцию выполняют такие компенсирующие участки как леса, защитные лесные насаждения, малопригодные, не используемые в сельском хозяйстве земли, особо охраняемые природные территории.

Для определения площади земель со средо- и ресурсостабилизирующими функциями были рассчитаны площади землепользований по каждому ландшафту (табл. 2–4). Наибольшую площадь эта территория занимает в Чограйско-Прикаспийском (86%), Курско-Прикаспийском (79%) и Нижнекумско-Прикаспийском (77%) ландшафтах. Минимальная площадь приходится на Карамык-Томузловский (10,8%) и Ташлянский ландшафт (10%), где распашка достигает почти 50% (табл. 5).

Таблица 3. СТРУКТУРА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛАНДШАФТАХ СТЕПНОЙ ПРОВИНЦИИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Ландшафт	Площадь, %				
	Естественные комплексы	Сенокосы и пастбища	Многолетние насаждения	Пашня	Селитьба
Егорлыкско-Сенгилеевский	7	47	2	42	2
Расшеватско-Егорлыкский	3	13	6	74	4
Среднегорлыкский	2	19	1	75	3
Бурукшунский	2	23	1	72	2
Нижнекалаусский	1	23	1	73	2
Айгурский	1	29	0,5	68	1,5
Карамык-Томузловский	2	11	2,7	82	2,3

Таблица 4. СТРУКТУРА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛАНДШАФТАХ ПОЛУПУСТЫННОЙ ПРОВИНЦИИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Ландшафт	Площадь, %				
	Естественные комплексы	Сенокосы и пастбища	Многолетние насаждения	Пашня	Селитьба
Левокумский	5	20	0,5	72	2,5
Правокумско-Терский	4	10	0,6	82	3,4
Курско-Прикаспийский	3	74	0,3	20	2,7
Нижнекумско-Прикаспийский	4,5	71	0,5	22	2
Чограйско-Прикаспийский	14	72	1	12	1
Западно-Манычский	10	40	1	46	3

Таблица 5. КОЭФФИЦИЕНТ УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ
СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Ландшафт	Площадь со средо- и ресурсостабилизирующими функциями (Рсф), %	Коэффициент устойчивости (Ку)
Верхнегорлыкский	33,8	0,33
Ташлянский	10	0,1
Грчевско- Калаусский	19,5	0,19
Прикалаусско- Саблинский	18	0,18
Прикалаусско- Буйволинский	13,6	0,13
Егорлыкско- Сенгилеевский	41,5	0,41
Расшеватско- Егорлыкский	13,5	0,13
Среднегорлыкский	15,4	0,15
Бурукшунский	18,4	0,18
Нижнекалаусский	17,4	0,17
Айгурский	21,4	0,21
Карамык- Томузловский	10,8	0,1
Левокумский	26	0,26
Правокумско- Терский	17	0,17
Курско- Прикаспийский	79	0,8
Нижнекумско- Прикаспийский	77	0,77
Чограйско- Прикаспийский	86	0,86
Западно- Маньчский	50	0,5

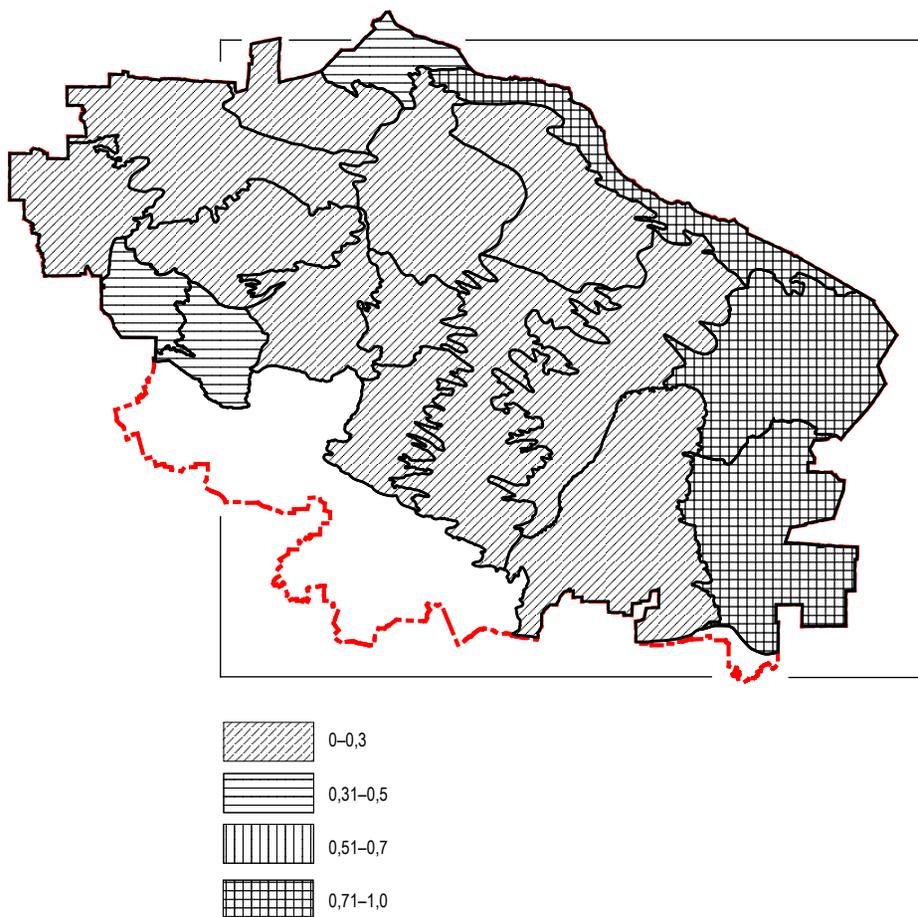


Рис. 1. Устойчивость к антропогенному воздействию ландшафтов Ставропольского края.

Выводы

В пределах рассматриваемых ландшафтов коэффициент устойчивости (K_u) изменяется от 0,86 в Чограйско-Прикаспийском ландшафте до 0,1 в Карамык-Томузловском и Ташлянском (рис. 1). K_u менее 0,5 свидетельствует о критическом уровне защищенности территории [Кочуров, Иванов, 1997]. Это говорит о необходимости принятия мер по обеспечению экологической устойчивости ландшафтов. Должен быть предусмотрен широкий круг мелиоративных мероприятий: от адаптивных, предусматривающих минимальное антропогенное воздействие на агроландшафт, до природообустроительных (оптимизация водного, теплового и других режимов почвы).

Библиографический список

1. Арманд Д.Л., Величко А.А., Виноградов М.Е. и др. Механизмы устойчивости геосистем. М.: Наука, 1992. 208 с.
2. Бунина Н.П., Шабанов В.В. Многокритериальный подход к оценке продуктивности и устойчивости агроландшафта // Природообустройство и рациональное природопользование – необходимые условия социально-экономического развития России. Сборник трудов МГУП. Москва, 2005. С. 314–318.
3. Захаров Ю.С., Кулинская С.В. Устойчивость геосистем и эколого-хозяйственная дифференциация территории // Охрана природы в территориальном проектировании. М., 1990.
4. Исаченко А.Г. Экологические проблемы и эколого-географическое картографирование СССР // Изв. ВГО, 1990. Т. 122, вып. 4. С. 289.
5. Котляков В.М., Глазовский Н.Ф., Руденко Л.Г. Географические подходы к проблеме устойчивого развития // Известия РАН. Серия географическая, № 6, 1997. С. 8–15.
6. Кочуров Б.И., Иванов Ю. Территориальный баланс состояния природы и хозяйства (на примере Московской области и Усть-Коксинского района Горного Алтая) // Природа и люди. № 6, 1997. С. 25–29.
7. Мирцхулава Ц.Е. Проблемы геоэкологии: количественная оценка состояния и риска опасностей географических систем, их устойчивого развития // Инженерная экология, № 1, 2003. С. 25–34.
8. Орлова И.В. Динамика и сбалансированность структуры землепользования приграничных степных районов Западной Сибири // Степной бюллетень, 2007, № 21–22.
9. Реймерс, Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 224 с.
10. Реймерс Н.Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990. 637 с.
11. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Россия молодая, 1994. 366 с.
12. Сидоров Ю.Ф. Составление карт условий природопользования и антропогенной нарушенности Амурской области м-ба 1:500000. Отчет в 2-х томах № ГР 47–00–11. Государственный природоохранный центр при Комитете природных ресурсов по Амурской области. 2002. 155 с.
13. Синещеков В.Е., Южаков А.И. Условия стабильного функционирования агроландшафтов юга западной Сибири // География и природные ресурсы, 2005, № 1. 85–90.
14. Солнцева Н.П. Геохимическая совместимость природных и техногенных потоков // Вопр. геогр. 1983. Вып. 120. С. 28–40.
15. Устойчивость южно-таежных биогеоценозов к антропогенным воздействиям // Природно-антропогенные экосистемы. М.: МФ ВГО, 1998. С. 112–130.
16. Шальнев В.А. Ландшафты Ставропольского края. Ставрополь, 1995. 51 с.

17. Современные ландшафты Ставропольского края. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2002. 228 с.
18. Шальнев В.А. Современные ландшафты Северного Кавказа. Эволюция и современность. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2004. 264 с.

References

1. Armand D.L., Velichko A.A., Vinogradov M.E. et al. Mehanizmy ustoychivosti geosistem (Mechanisms of stability of geosystems). M.: Nauka, 1992. 208 p.
2. Bunina N.P. Shabanov V.V. Mnogokriterialny podhod k ocenke produktivnosti i ustoychivosti agrolandshafta (Multicriteria approach to evaluating the productivity and sustainability of agricultural landscape) //environmental engineering and environmental management – a necessary condition for socio-economic development of Russia. Proceedings of the MSUE. Moscow, 2005. P. 314–318.
3. Zakharov, Y. S., Kulinsky, S. V., Ustoichivost geosistem i ekologo-hozyaistvennaya differenciaciya territorii (Stability of geosystems and ecological-economic differentiation of the territory) // environment Protection in the territorial planning. M., 1990.
4. Isachenko A. G. Ecologicheskie problemy i ekologo-geographicheskoe kartografirovaniye SSSR (Environmental problems and ecological-geographical mapping of the USSR) // Izv. VGO, 1990. Vol 122, issue. 4. P. 289.
5. Kotlyakov V. M., Glazovsky N. F., Rudenko L. G. Geographicheskie podhody k probleme ustoychivogo razvitiya (Geographical approach to sustainable development) //Izvestiya ran. Geographical series, No. 6, 1997. S. 8–15.
6. Kochurov B.I., Ivanov Yu. Territorialny balans sostoyania prirody i hozyaistva (na primere Moskovskoy oblasti i Ust'-Koksinskogo rajona Gornogo Altaya) (Territorial balance of the state of nature and economy (on example of Moscow region and Ust-Koksa district of the Mountainous Altai) // Nature and people. No. 6, 1997. P. 25–29.
7. Mirtskhulava T.S. Problemy geoehkologii: kolichestvennaya ocenka sostoyaniya i riska opasnostej geograficheskikh sistem, ih ustoychivogo razvitiya (Problems of Geoecology: a quantitative assessment of the risk and hazards of geographical systems, sustainable development) /environmental Engineering, No 1, 2003. S. 25–34.
8. Orlova I.V. Dinamika i sbalansirovannost' struktury zemlepol'zovaniya prigranichnykh stepnykh rajonov Zapadnoj Sibiri (Dynamics and balance of land use bordering the steppe regions of Western Siberia) // Steppe Bulletin, 2007, № 21–22.
9. Reimers, N. F., Shtilmark, F. R. Osobo ohranyaemye prirodnye territorii (Protected areas). Moscow: Mysl', 1978. 224 p.
10. Reimers, N. F. Prirodopol'zovanie (The use of natural resources). M.: Thought, 1990. 637 p.
11. Reimers, N. F. Ehkologiya (teorii, zakony, pravila, principy i gipotezy) (Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses). M.: young Russia, 1994. 366 p.

12. Sidorov Y. F. Sostavlenie kart uslovij prirodnopol'zovaniya i antropogennoj narushennosti Amurskoj oblasti m-ba 1:500000. Otchet v 2-h tomah № GR 47–00–11 (Mapping of environmental conditions and anthropogenic disturbance of the Amur region m-BA 1:500000. Report in 2 volumes No. GR 47–00–11). National environmental centre Committee of natural resources in the Amur region. 2002. 155 p.
13. Cineschokow E.V., Yuzhakov A.I. Usloviya stabil'nogo funkcionirovaniya agrolandshaftov yuga zapadnoj Sibiri (Conditions of the stable functioning of agrolandscapes of the South of Western Siberia) // Geography and natural resources, 2005, №1. S. 85–90.
14. Solntseva N. P. Geohimicheskaya sovместimost' prirodnyh i tekhnogennyh potokov (Geochemical compatibility of natural and man-made flows) // Problems. geogr. 1983. Vol. 120. S. 28–40.
15. Ustojchivost' yuzhno-taezhnyh biogeocенозов k antropogennym vozdeystviyam (The stability of the southern taiga ecosystems to anthropogenic effects) // Natural-anthropogenic ecosystems. M.: MF VGO, 1998. S. 112–130.
16. Shal'nev, V. A. Landshafty Stavropol'skogo kraja (Landscapes of Stavropol region). Stavropol, 1995. 51 p.
17. Sovremennye landshafty Stavropol'skogo kraja (Contemporary landscapes of Stavropol region). Stavropol: Publishing house SGU, 2002. 228 С.
18. Shal'nev, V. A. Sovremennye landshafty Severnogo Kavkaza. Evolyuciya i sovremennost' (Modern landscapes of the North Caucasus. Evolution and modernity). – Stavropol: Publishing house SGU, 2004. 264 p.

УДК 550.46

Мовсесова В.В. [Movsesova V.V.]
Блужина А.С. [Bluzhina A.S.]
Иваненко К.И. [Ivanenko K.I.]
Степанян А. [Stepanyan A.A.]

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ПЫЛЕВОЙ НАГРУЗКИ НА СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ УРУПСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

**Determination of the level of dust load of snow
cover in the zone of influence of Urupsky mining
and processing plant**

В статье приведены расчеты пылевой нагрузки и общей нагрузки каждого из элементов: Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Co, Fe, Mn в районе расположения Урупского горно-обогатительного комбината в соответствии с конусом выноса по розе ветров, характерной для данной местности. Определение металлов и взвешенных веществ в снежном покрове произведено в соответствии с ПНД Ф 11.1:2:4.214–06 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в пробах природных и сточных вод методом плазменной атомно-абсорбционной спектрофотометрии» и ПНД Ф 14.1:2.110–97 «Методика выполнения измерений содержаний взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом», расчеты нагрузок в соответствии с Методическими рекомендациями по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. Установлено, что процессы пыления хвостохранилища Урупского ГОКа оказывают несущественное влияние на состояние атмосферного воздуха по конусу выноса.

The paper presents calculations of the dust load and the total load of each of the elements: Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Co, Fe, Mn in the region of the location of the Urup ore mining and processing plant in accordance with the wind rose cone characteristic of the locality. The determination of metals and suspended solids in the snow cover was carried out in accordance with PND F 11.1: 2: 4.214–06 "Quantitative chemical analysis of waters. Method for performing measurements of the mass concentration of iron, cadmium, cobalt, manganese, nickel, copper, zinc, chromium and lead in samples of natural and waste water using the method of plasma atomic absorption spectrophotometry " and PND F 14.1: 2.110–97" Method for measuring the contents of suspended solids and the total content of impurities in samples of natural and treated wastewater by gravimetric method ", calculations of loads in accordance with the Methodological recommendations for assessing the degree of atmospheric air pollution of settlements by metals in accordance with their content in the snow cover and soil. It is established that the processes of dusting of the tailings dump of the Urupsky GOK have an insignificant influence on the state of atmospheric air by the cone of removal.

Ключевые слова: Урупский ГОК, хвостохранилище, снежный покров, суммарный показатель загрязнения, суммарный показатель нагрузки.

Key words: Urupsky GOK, tailing pond, snow cover, total pollution index, total load index.

Введение

Горно-обогатительный комбинат (ГОК) – комплексное горное предприятие по добыче и переработке твёрдых полезных ископаемых. По данным Управления охраны окружающей среды и водных ресурсов Карачаево-Черкесской республики в зоне действия ЗАО «Урупский ГОК» существует высокая техногенная нагрузка на поверхностные водные объекты, река Уруп загрязнена как стоками горнодобывающего производства. Помимо влияния на водный объект Урупский ГОК оказывает влияние и на состояние атмосферного воздуха, посредством пыления, несмотря на активное применение коагулянтов и флокулянтов в целях постепенного оседания твёрдой фазы хвостов. В настоящее время всё чаще в качестве объекта мониторинга состояния атмосферы используют снежный покров как интегральный показатель загрязнённости атмосферы на территориях, характеризующихся наличием устойчивого снежного покрова в течение длительного времени. В отличие от атмосферного воздуха, снежный покров является более объективным, стабильным и репрезентативным объектом анализа [1, 2], поскольку до весеннего снеготаяния загрязняющие вещества оказываются законсервированными в нём [1] и накапливаются с последующим снегопадом [3].

Для оценки влияния пыления хвостохранилища Урупского ГОКа на экологическое состояние атмосферного воздуха (по снежному покрову) в соответствии с розой ветров, были отобраны и проанализированы пробы снега на различном расстоянии от тела хвостохранилища.

Материалы и методы исследований

Хвостохранилище Урупского ГОКа находится на территории Урупского района Карачаево-Черкесской республики. Общая площадь объекта – 97,2 га, количество накопленных отходов – 6,3 млн кубических метров. Для оценки уровня загрязнённости различных участков снежного покрова в районе влияния хвостохранилища были выбраны контрольные точки отбора. Отбор проб снежного покрова произведён на территории, прилегающей к хвостохранилищу 1 очереди Урупского ГОКа расположено в 5 км западнее ст. Преградная по дороге Р 256 Майкоп-Карачаевск. В табл. 1 представлена информация об отобранных пробах снежного покрова.

Схематичное изображение расположения точек отбора проб снежного покрова представлено на рис. 1.

Как видно из рисунка 1 точки отбора проб снежного покрова были выбраны в соответствии с характерной розой ветров.

Как видно из табл. 1 и рис. 1 пробы № 1–5 отобраны в юго-восточном направлении на следующих расстояниях: $L_1 = 1000$ м, $L_2 = 700$ м, $L_3 = 500$ м, $L_4 = 200$ м, $L_5 = 200$ м. Проба № 6 отобрана в юго-западном направлении на расстоянии $L_6 = 200$ м, пробы № 7,8 отобраны в северо-восточном направлении

Таблица 1. СВЕДЕНИЯ О МЕСТЕ ОБОРА ПРОБ, КОЛИЧЕСТВЕ КЕРНОВ, МАССЕ ПРОБ И ВЫСОТЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Дата	№ пробы	Место отбора	Количество кернов, шт	Масса пробы, кг	Высота снежного покрова, см
15.02.2017	1	1 км	3	2,7	6
	2	700 м	3	2,5	6
	3	500 м	3	2,7	6
	4	200 м	3	3	5
	5	Угол/дно	3	2,7	5
	6	200 м от	3	2,5	5
	7	Плато старого	3	2,7	6
	8	150 м от действующего	3	2,5	6
	9	контроль	4	3	7

на расстоянии $L_{7,8} = 200$ м, фоновая проба отобрана в северо-западном направлении на расстоянии $L_9 = 200$ м.

В каждом пункте отобрана одна интегральная проба, состоящая из нескольких кернов. Объем одной пробы 2,5–3,0 литров талой воды. Керны отбирались на расстоянии 5–10 метров друг от друга и располагаются по углам треугольника. При отборе пробы, как и положено, снегоотборник вдавливаются до упора в снежный покров, снежная масса уплотняется поршнем, снегоотборник извлекается из снежного покрова, нижняя торцевая поверхность керна тщательно очищалась от грунта и растительных включений и снежная масса выдавливалась поршнем в полиэтиленовый пакет, на который предварительно навешена бирка с номером пробы.

В работе использованы значения валовых форм тяжелых металлов, установленных при исследованиях в научно-учебной лаборатории «Экоаналитическая лаборатория» СКФУ методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии на атомно-абсорбционном спектрометре с атомизацией в пламени iSE 3300 (ThermoScientific, США) после мокрого озоления талой воды, полученной при таянии снежного покрова азотной кислотой. При проведении лабораторных анализов проб почвы использованы методика: ПНД Ф 11.1:2.4.214–06 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений

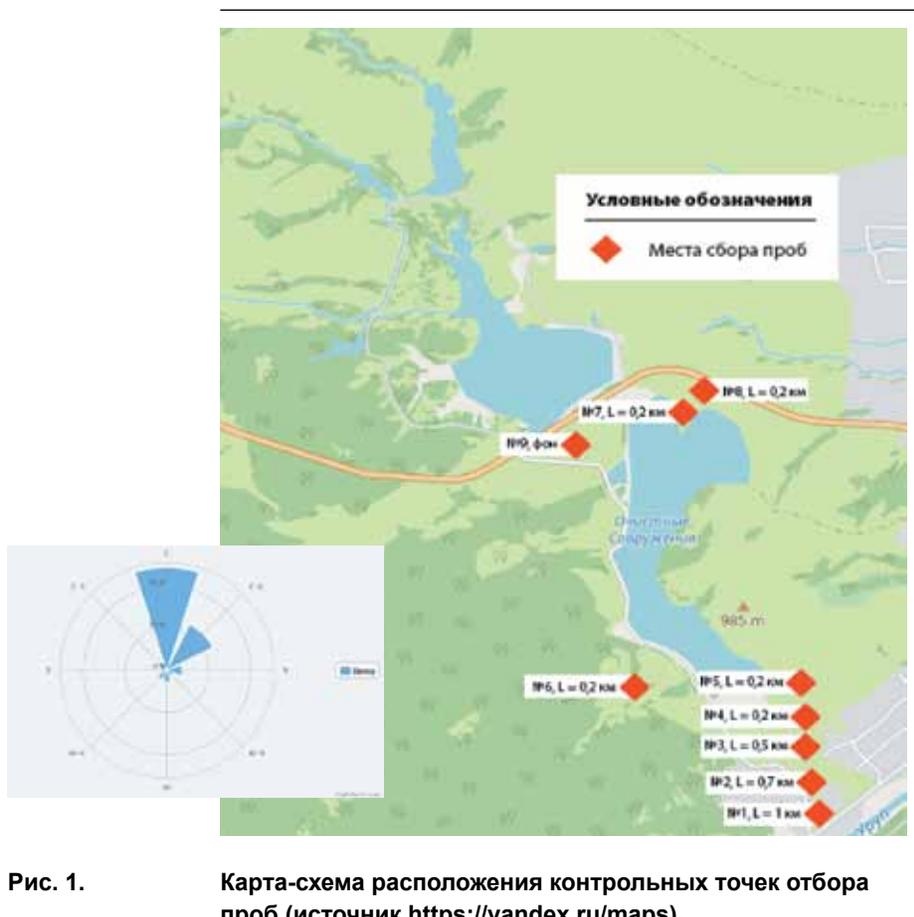


Рис. 1. Карта-схема расположения контрольных точек отбора проб (источник <https://yandex.ru/maps>).

массовой концентрации железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в пробах природных и сточных вод методом плазменной атомно-абсорбционной спектрофотометрии» [4] и ПНД Ф 14.1:2.110–97 «Методика выполнения измерений содержаний взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом» [5].

На основе полученных результатов физико-химических исследований снежного покрова, для оценки влияния пыления хвостохранилища Урупского ГОКа на прилегающей территории, по Методическим рекомендациям по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве [6], рассчитаны следующие показатели:

Расчет пылевой нагрузки проводится по формуле: $P_n = P / (S \times t)$, мг / (м² × сут), где P — масса пыли в пробе, S — площадь шурфа, t — время (в сутках), прошедшее с момента установления снежного покрова.

Суммарный приход твердого вещества используется в дальнейшем при определении поступления конкретных химических элементов в ландшафты воздушным путем. На его основе рассчитывается, прежде всего, общая нагрузка, создаваемая поступлением элементов в окружающую среду:

$$P_{\text{общ.}} = C \times P_n,$$

где P_n — среднесуточная пылевая нагрузка (в кг/км²),
 C — концентрация элемента в снеговой пыли (в мг/кг).

Кроме того, рассчитывается коэффициент относительного увеличения общей нагрузки элемента K_p : $K_p = P_{\text{общ.}} / P_{\text{ф.}}$,

при $P_{\text{ф.}} = C_{\text{ф.}} \times P_{\text{нф.}}$, где $C_{\text{ф.}}$ — фоновое содержание исследуемого элемента; $P_{\text{нф.}}$ — фоновая пылевая нагрузка; $P_{\text{ф.}}$ — фоновая нагрузка исследуемого элемента.

Суммарный показатель нагрузки: $Z_p = \sum K_p - (n - 1)$,
 где n — число учитываемых аномальных элементов с K_p больше 1.

Существует градация по Z_p :

- 1000 — низкая степень загрязнения, неопасный уровень заболеваемости;
- 1000–5000 — средняя степень загрязнения, умеренно опасный уровень заболеваемости;
- 5000–10000 — высокая степень загрязнения, опасный уровень заболеваемости;
- < 10000 — очень высокая степень загрязнения, чрезвычайно опасный уровень заболеваемости.

Суммарный показатель загрязнения Z_c (СПЗ), характеризующий эффект воздействия группы элементов. Показатель рассчитывается по следующей формуле: $Z_c = \sum K_c - (n - 1)$,

где K_c — коэффициент концентрации, который рассчитывается как отношение содержания элемента в исследуемом объекте C к его фоновому содержанию $C_{\text{ф.}}$: $K_c = C / C_{\text{ф.}}$, причем $K_c > 1$; n — число учитываемых аномальных элементов.

Существующая градация по величине суммарного показателя загрязнения:

- 64 — низкая степень загрязнения, неопасный уровень заболеваемости;
- 64–128 — средняя степень загрязнения, умеренно опасный уровень заболеваемости;
- 128–256 — высокая степень загрязнения, опасный уровень заболеваемости;
- < 256 — очень высокая степень загрязнения, чрезвычайно опасный уровень заболеваемости.

Результаты исследований и их обсуждение

В каждой из отобранных проб снежного покрова методом атомной спектроскопии определены 8 металлов и взвешенные вещества. В табл. 2 представлена информация о содержании изученных химических элементов в установленных точках отбора и коэффициент концентрации элемента на изучаемой территории.

Как видно из таблицы 2, полученные значения содержаний тяжелых металлов и взвешенных веществ в отобранных пробах снежного покрова имеют небольшие значения. Зеленым цветом в табл. 2 выделены коэффициенты концентрации, значения которых больше 1. В пробе № 1 – это коэффициент концентрации по Ni, Fe, Mn и взвешенным веществам. В пробе №2 – это Kc по Zn, Pb, Cd, Co, Fe, Mn и взвешенным веществам. В пробе №3 – это значения по Cd, Ni, Co, Fe, Mn и взвешенным веществам. В пробе № 4 – это значения по Cd, Co, Mn и взвешенным веществам. В пробе № 5 – это значения по Pb, Ni, Co, Fe, Mn и взвешенным веществам. В пробе № 6 – это значения по Zn, Ni и взвешенным веществам. В пробе № 7 – это значения по Zn, Ni, Fe, Mn и взвешенным веществам. В пробе № 8 – это значения по всем изученным веществам, за исключением меди.

Для расчета общей нагрузки каждого элемента использовались значения общего количества пыли, выпадающего на единицу площади в единицу времени или так называемая пылевая нагрузка (рис. 2).

Согласно рис. 2, наименьшее значение, как и ожидалось, имеет фоновая проба, пылевая нагрузка в пробах, отобранных в юго-восточном, юго-западном и северо-восточном направлениях незначительна, за исключением пробы на №1.

На рис. 3 приводятся значения общей нагрузки каждого изученного элемента, выраженная через диаграмму, отображающую изменения процентного вклада каждого значения с течением времени.

Как видно из рис. 3 количество каждого элемента, выпадающего на единицу площади в единицу времени имеет небольшие значения. При анализе диаграммы, отображающей изменения процентного вклада каждого значения с течением времени становится ясно, что наибольшим вкладом с течением времени будут обладать фоновые концентрации.

В этой связи, с течением времени, в юго-восточном направлении в местах расположения проб № 1–5 наблюдается наименьший вклад элементов с течением времени, с небольшой дифференциацией, носящий следующий характер: при удалении от тела хвостохранилища изменения процентного вклада каждого значения с течением времени, как и ожидалось, сокращается.

Такая же картина характерна для проб, отобранных в юго-западном и северо-восточном направлении.

Ввиду полиэлементного состава снежного покрова нами рассчитаны суммарные показатели загрязнения: показатель загрязнения и суммарный по-

Таблица 2.

СОДЕРЖАНИЕ ИЗУЧЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В УСТАНОВЛЕННЫХ ТОЧКАХ ОТБОРА И КОЭФФИЦИЕНТ
КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТА НА ИЗУЧАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

№ пробы	Химические элементы									
	Zn мг/л	Kc	Cu мг/л	Pb мг/л	Kc	Cd мг/л	Kc	Ni мг/л	Kc	
1	0,002	0,23	<0,03	0,019	0,27	0,014	0,91	0,022	1,03	
2	0,058	5,8	<0,03	0,321	4,58	0,023	1,50	0,021	0,99	
3	<0,01		<0,03	<0,01		0,026	1,70	0,052	2,46	
4	0,005	0,5	<0,03	<0,01		0,022	1,42	0,007	0,34	
5	<0,01		<0,03	0,281	4,01	0,012	0,76	0,109	5,12	
6	0,074	7,4	<0,03	<0,01		0,006	0,39	0,025	1,10	
7	0,135	13,5	<0,03	<0,01		0,010	0,67	0,083	3,89	
8	0,153	15,3	<0,03	0,106	1,51	0,027	1,74	0,072	3,36	
9 ф	0,01		0,03	0,01		0,015		0,021		

№ пробы	Химические элементы									
	Co мг/л	Kc	Fe мг/л	Kc	Mn мг/л	Kc	Взв. в-ва мг/дм³	Kc	Zc	
1	0,004	0,37	0,859	1,84	0,058	2,39	224	4,00	6,26	
2	0,02	1,72	0,529	1,13	0,04	1,65	98	1,75	28,32	
3	0,022	1,86	0,751	1,61	0,069	2,84	92	1,64	7,11	
4	0,034	2,93	0,398	0,85	0,037	1,52	76	1,36	4,24	
5	0,018	1,55	0,683	3,29	0,048	1,98	110	1,96	12,91	
6	0,011	0,97	0,565	1,21	0,021	0,85	78	1,39	8,1	
7	0,009	0,77	0,576	1,23	0,032	1,32	120	2,14	18,08	
8	0,022	1,86	0,584	1,25	0,019	0,78	112	2,00	21,02	
9 ф	0,012		0,467		0,024		56			

казатель нагрузки для этого применен рассчитанный коэффициент относительного увеличения общей нагрузки каждого элемента (табл. 3).

Суммарный показатель загрязнения в каждой точке отбора ниже 32 (самый низкий уровень равен 32). Таким образом, по суммарному показателю загрязнения, согласно представленным критериям в Методике, снежный покров не может быть охарактеризован ни по одному из уровней загрязнения.

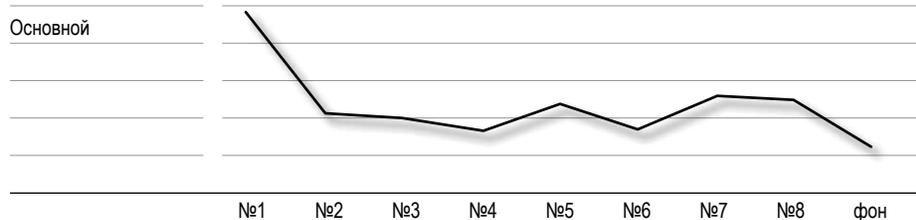
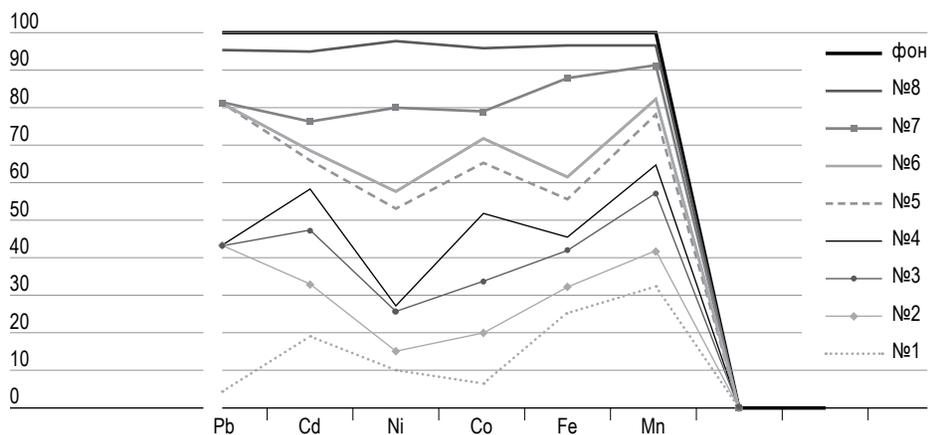


Рис. 2. Пылевая нагрузка Pn., (мг/км² × сут).



Хим. элемент	Общая нагрузка элемента – P общ., мг/(км ² × сут.)								
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	фон
Zn	0,129	0,135		0,009		0,137	0,385	0,410	0,013
Pb	0,097	0,758			0,733			0,282	0,093
Cd	0,074	0,054	0,057	0,039	0,030	0,011	0,029	0,071	0,020
Ni	0,117	0,049	0,114	0,013	0,284	0,047	0,237	0,190	0,028
Co	0,023	0,047	0,047	0,0612	0,047	0,021	0,0256	0,057	0,015
Fe	4,553	1,2326	1,637	0,716	1,783	1,045	4,642	1,553	0,621
Mn	0,307	0,093	0,150	0,067	0,125	0,038	0,091	0,051	0,032

Рис. 3. Значения общей нагрузки каждого изученного элемента, выраженные через диаграмму, отображающую изменения процентного вклада каждого значения с течением времени.

Таблица 3. СУММАРНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И СУММАРНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ НАГРУЗКИ

	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
Zс Суммарный показате- ль загрязнения	3,26 < 32	27,57 < 32	6,47 < 32	3,88 < 32	11,95 < 32	7,71 < 32	16,94 < 32	20,02 < 32
Zр Суммарный показате- ль нагрузки	238,02 < 1000	23,97 < 1000	10,38 < 1000	3,41 < 1000	22,42 < 1000	9,79 < 1000	39,06 < 1000	45,09 < 1000

Суммарный показатель нагрузки, характеризует выпадение металлов, его значения в каждой из точек отбора меньше наименьшего значения 1000. Как и в случае с суммарным показателем загрязнения, согласно представленным критериям в Методике, снежный покров не может быть охарактеризован ни по одному из уровней нагрузки.

Выводы

Учитывая тот факт, что снежный покров является депонирующей средой и значения обоих показателей не подходят ни под одну из градаций уровней загрязнения атмосферного воздуха, можно утверждать о минимальном уровне воздействия хвостохранилища Урупского ГОКа на атмосферный воздух. Применяемые методы снижения воздействия на атмосферный воздух прилегающей территории являются эффективными и существенно снижают процессы пыления.

Библиографический список

1. Шумилова М.А., Садиуллина О.В., Дружакина О.П. Об особенностях анализа снега при мониторинге окружающей среды на примере г. Ижевска // Носкова Т.В., Эйрих А.Н., Дрюпина Е.Ю., Серых Т.Г., Овчаренко Е.А., Папина Т.С. 212 Ползуновский вестник № 3 2014 Вестник Удмуртского университета. Физика. Химия. 2012. Вып. 1. С. 109–112.
2. Систер В.Г., Корецкий В.Е. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период: учеб. пособие. М.: Моск. гос. ун-т инж. экологии, 2004. 190 с.
3. Таловская А.В. Оценка эколого-геохимического состояния районов г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск, 2008. 23 с.
4. ПНД Ф 11.1:2.4.214–06 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в пробах природных и сточных вод методом плазменной атомно-абсорбционной спектроскопии».

5. ПНД Ф 14.1:2.110–97 «Методика выполнения измерений содержания взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом».
6. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. главным государственным санитарным врачом СССР от 15.05.1990 n 5174–90).

References

1. Shumilova M.A., Sadiullina O.V., Druzhakina O.P. Ob osobennostyakh analiza snega pri monitoringe okruzhayushhej sredy` na primere g. Izhevsk (On the features of the analysis of snow in monitoring the environment by the example of Izhevsk) // Noskova T.V., E`jrikh A.N., Dryupina E.Yu., Sery`kh T.G., Ovcharenko E.A., Papina T.S. 212 Polzunovskij vestnik # 3 2014 Vestnik Udmurtskogo universiteta. Fizika. Khimiya. 2012, Vy`p. 1. S. 109–112.
2. Sister V.G., Koreczkij V.E. Inzhenerno- e`kologicheskaya zashhita vodnoj sistemy` severnogo megapolisa v zimnij period: ucheb. posobie (Engineering and environmental protection of the northern metropolitan water system in winter: training. allowance). M.: Mosk. gos.un-t inzh. e`kologii, 2004. 190 s.
3. Talovskaya A.V. Otsenka e`kologo-geokhimicheskogo sostoyaniya rajonov g. Tomsk po danny`m izucheniya py`leae` rozolej (Evaluation of the ecological and geochemical state of Tomsk regions according to the data of the study of dust aerosols): avtoref. diss. kand. geol.- miner. nauk. Tomsk, 2008. 23 s.
4. ПНД F 11.1:2.4.214–06 «Kolichestvennyj himicheskij analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii zheleza, kadmiya, kobal`ta, marganca, nikelya, medi, cinka, hroma i svinca v probah prirodnih i stochnyh vod metodom plazmennoj atomno-absorbcionnoj spektrofotometrii» (Quantitative chemical analysis of waters. Method for performing measurements of the mass concentration of iron, cadmium, cobalt, manganese, nickel, copper, zinc, chromium and lead in natural and waste water samples using plasma atomic absorption spectrophotometry).
5. ПНД F 14.1:2.110–97 «Metodika vypolneniya izmerenij sodержaniy vzveshennyh veshchestv i obshchego sodержaniya primesej v probah prirodnih i ochishchennyh stochnyh vod gravimetricheskim metodom» (Methods for performing measurements of suspended matter and total impurity content in samples of natural and treated wastewater by gravimetric method).
6. Metodicheskie rekomendacii po ocenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo vozduha naselennyh punktov metallami po ih sodержaniyu v snezhnom pokrove i pochve (Methodological recommendations for assessing the degree of pollution of atmospheric air in populated areas with metals by their content in the snow cover and soil) (utv. glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom SSSR ot 15.05.1990 n 5174–90).

УДК 314.74+378.4

**Соловьев И.А. [Soloviev I.A.],
Щитова Н.А. [Chchitova N.A.]****ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
МИГРАНТОФОБИИ В ГОРОДАХ
СЕВЕРНОГО КАВКАЗА*****Territorial features of migrant-phobia in the cities
of the North Caucasus**

В статье на основе данных социологического исследования, включающего проведение массовых опросов коренного населения, интервьюирования, фокус-групп и мониторинговых результатов контент-анализа объявлений с этнической окраской на рынках аренды жилья, выявлен уровень мигрантофобии в городах Северного Кавказа в сравнении с общероссийским фоном. В исследовании проведен теоретический обзор научной литературы по проблемам мигрантофобии. В работе установлена зависимость динамики мигрантофобии от роста явных или потенциальных угроз России, в т.ч. террористической ситуации. В исследовании выявлена региональная дифференциация степени мигрантофобии на Северном Кавказе, прежде всего, обусловленная особенностями этнического состава населения его регионов. Исследование позволило определить современные типы регионов Северного Кавказа по уровню мигрантофобии. В статье определены внутрирегиональные особенности степени мигрантофобии на Северном Кавказе, на уровне сельских районов (муниципалитеты) и городов. В работе установлены важные закономерности уровня мигрантофобии коррелирующие с типом поселений (городские и сельские), а также с величиной города (миллионер, крупный, средний, малый). В статье разработаны меры национальной и миграционной политики направленные на смягчение проблемы фобий и предрассудков по отношению к мигрантам в региональных принимающих сообществах Северного Кавказа.

In the article, based on the results of a sociological survey that includes mass surveys of indigenous people, interviews, focus groups and monitoring results of content analysis of ads with ethnic coloring in rental housing markets, the level of migrant-phobia in the cities of the North Caucasus is identified in comparison with the all-Russian background. The study conducted a theoretical review of scientific literature on migrant-phobia. The dependence of the migrant-phobia dynamics on the growth of obvious or potential threats to Russia, incl. terrorist situation. The study identified a regional differentiation of the degree of migrant-phobia in the North Caucasus, primarily due to the peculiarities of the ethnic composition of the population of its regions. The study made it possible to determine the contemporary types of regions in the North Caucasus in terms of migrant-phobia. The article defines intraregional features of the degree of migrant-phobia in the North Caucasus, at the level of rural areas (municipalities) and cities. Important regularities of the level of migrant-phobia correlating with the type of settlements (urban and rural), as well as with the size of the city (millionaire, large, medium, small). The article developed measures of national and migration policy aimed at alleviating the problem of phobias and prejudices towards migrants in the regional host communities of the North Caucasus.

Ключевые слова: мигрантофобия, территориальные аспекты, Северный Кавказ**Key words:** migrant-phobia, territorial aspects, the North Caucasus

* Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ 16-06-00179 «Разработка и апробация системы геоинформационного мониторинга этнодемографических процессов (на примере регионов Северного Кавказа)».

Введение

Важную роль в интеграционных процессах мигрантов играет отношение к ним принимающих сообществ. Краснодарский, Ставропольский края и Ростовская область, принявшие значительную часть стрессовых мигрантов в конце XX века, получили целый клубок различных проблем. Миграции ухудшили межнациональный климат, возросли ксенофобские и мигрантофобские настроения среди местного населения.

Проблема мигрантофобии во многом определяет интеграционную емкость и «порог» социальной терпимости принимающих сообществ, а также может приводить к таким негативным явлениям как сегрегации мигрантов и их капсулированию. Особенно остро проявляется мигрантофобия в городской местности России в регионах с протеканием активных этнических миграций. К таковым относится равнинное Предкавказье – Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский края.

Обзор литературы. Понятие «фобия» заимствовано в западной социологии, и по отношению к мигрантам под ними понимаются мнения, психологические установки принимающего общества [4]. В современной отечественной науке накоплен богатый опыт исследований по данной проблематике. Вклад в разработку проблемы мигрантофобии по отношению к русским вынужденным мигрантам 1990-х годов в России сделала Г.С. Витковская и С.А. Панарин [3, 6]. Проявление мигрантофобии к этническим мигрантам в России исследовались многими отечественными учеными, в т.ч. В.И. Мукомелем [7]. На Северном Кавказе эта проблематика разрабатывалась М.В. Саввой, В.А. Авксентьевым, И.О. Бабкиным, А.Ю. Хоцем, В.А. Тишковым и В.В. Степановым [8, 2, 5].

Материалы и методы исследования

Было высказано предположение, что мигрантофобское поведение местного населения дифференцировано в зависимости от района проживания и неодинаково в разных территориях Северного Кавказа и даже в разных поселениях одного региона. Для выявления территориальных особенностей мигрантофобии в городах на Северном Кавказе нами использовалась методика В.И. Мукомеля, основанная на анализе этнической окраски объявлений, на рынке аренды жилья. Многие арендующие жильё лица, относятся к различным категориям мигрантов (студенты, трудовые мигранты и др.). В свою очередь объявления размещают владельцы недвижимости, как правило, из числа коренного населения. В них встречаются объявления с указанием этнической принадлежности, например, «сдам русской (славянской) семье». Таким образом, изучая объявления о сдаче жилья на длительный срок, можно выявить уровень мигрантофобии коренного русского населения по отношению к иноэтничным мигрантам.

Для проведения контент-анализа нами был выбран самый популярный в России сайт объявлений «Авито» (<https://www.avito.ru>). Разовый отбор объявлений по всей России о сдаче квартир, комнат, домов, коттеджей, времянки и таунхаусов произведен 15 января 2017 г. Повторный контент-анализ объявлений проведен через год – 14 февраля 2018 года. Всего было выявлено около 578 тыс. объявлений (356 тыс. в 2017 г., и 221 тыс. в 2018 г.), в т.ч. в субъектах Северного Кавказа – 78 тыс. (45 тыс. в 2017 г. и 33 тыс. в 2018 г.). Для определения объявлений этнофобского характера с помощью ключевых слов «русской(ая)», «селянской(ая)» были сформированы поисковые запросы на исследуемом портале. В регионах с преобладающим титульным населением помимо вышеуказанных поисковых фраз нами использовались следующие слова «даргинской», «аварской» и т.п.

Другой важной информационной составляющей работы выступили данные социологических исследований, а именно фокус-групп, интервьюирования и массового анкетирования коренного населения и мигрантов.

Для проведения типологии регионов Северного Кавказа по уровню мигрантофобии нами применялся статистический метод сводки и группировки.

Результаты исследования

Данные социологических исследований показали, что проблема мигрантофобии существует в принимающих сообществах Северного Кавказа. В целом уровень мигрантофобии в регионах Северного Кавказа не высок. Жестко отрицательно к новоселам относятся не более 10% местных жителей [1]. Уровень мигрантофобии имеет различную степень по отношению мигрантам разных категорий. Особенно негативное отношение со стороны коренного населения отмечается к мигрантам-мусульманам, несколько ниже уровень мигрантофобии и этнической неприязни к переселенцам христианам и практически не выражен по отношению к русскоязычным новоселам. При этом более лояльное отношение к вынужденным переселенцам и беженцам даже если они относятся к этническим мигрантам. Наиболее негативное отношение к приезжим проявляется в молодежной среде [9].

Контент-анализ сайта «Авито» показал, что уровень мигрантофобии на Северном Кавказе ниже, чем в среднем по России. В 2017–2018 году доля объявлений этнофобского характера в России составляла 4,7–6,5%, на Северном Кавказе в свою очередь этот показатель был почти в два раза ниже – 2,8–3,5% (табл. 1).

Мигрантофобия в исследуемом районе имеет значительную региональную дифференциацию. Наибольший её уровень проявился в субъектах с преобладанием русского населения. Самый высокий показатель (почти на уровне общероссийского) характерен для Ростовской области (4,7–5,2%), на два процентных пункта он меньше в Краснодарском и Ставропольском краях (табл. 2).

Таблица 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЯВЛЕНИЙ О СДАЧЕ ЖИЛЬЯ В РОССИИ И НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

Территории	Годы	Общее число объявлений	Число объявлений этнофобского характера»	% к итогу
Россия	2017	325897	15315	4,7
	2018	221438	14390	6,5
Северный Кавказ	2017	45191	1258	2,8
	2018	33251	1154	3,5

Таблица 2. УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ОБЪЯВЛЕНИЙ ЭТНОФОБСКОГО ХАРАКТЕРА В СУБЪЕКТАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Регионы	2017 г.	2018 г.
Ростовская область	4,7	5,2
Краснодарский край	2,8	3,6
Ставропольский край	2,7	3,3
Адыгея	1,5	1,6
Северная Осетия-Алания	0,1	0,1
Дагестан	0,1	0
Карачаево-Черкесия	0	0
Кабардино-Балкария	0	0
Ингушетия	0	0
Чеченская республика	0	0

По нашему мнению, это может быть связано с численностью населения городов – чем больше город, тем выше степень мигрантофобии. То есть, неблагоприятная картина в Ростовской области преимущественно складывается за счет города-миллионера – Ростова-на-Дону. Именно в городах-миллионерах России отмечается самый низкий порог социальной терпимости коренного населения. В большинстве крупнейших городов России с преобладающим русским населением отмечается повышенный удельный вес объявлений этнофобского характера. Наихудшая ситуация характерна для Москвы (14,8%), Новосибирска (8,4%), Красноярска

Таблица 3.

УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ОБЪЯВЛЕНИЙ ЭТНОФОБСКОГО ХАРАКТЕРА
В ГОРОДАХ-МИЛЛИОНЕРАХ РОССИИ НА 14.02.2018 Г.

Города	%
Москва	14,8
Новосибирск	8,4
Красноярск	8,3
Самара	7,7
Екатеринбург	7,1
Воронеж	6,4
Волгоград	6,2
Санкт-Петербург	5,5
Ростов-на-Дону	5,7
Нижний Новгород	5,1
Омск	2,9
Челябинск	2,4
Пермь	1,8
Уфа	0,3
Казань	0,2
Всего	7,2

(8,3%), Самары (7,7%), Екатеринбургa (7,1%), Воронежа (6,4%), Волгограда (6,2%), Ростова-на-Дону (5,7%), Санкт-Петербурга (5,5%), Нижнего Новгорода (5,1%). Исключение составляют Челябинск, Пермь и Омск, возможно, это связано с относительно низкими масштабами трудовой миграции. Самый низкий уровень мигрантофобии отмечается в республиканских столицах – в Казане и Уфе (табл. 3).

Значительно ниже уровень объявлений с этнической окраской в Адыгее, где русские также являются доминирующим этносом. Практически отсутствует подобная социальная практика в остальных республиках Северно-

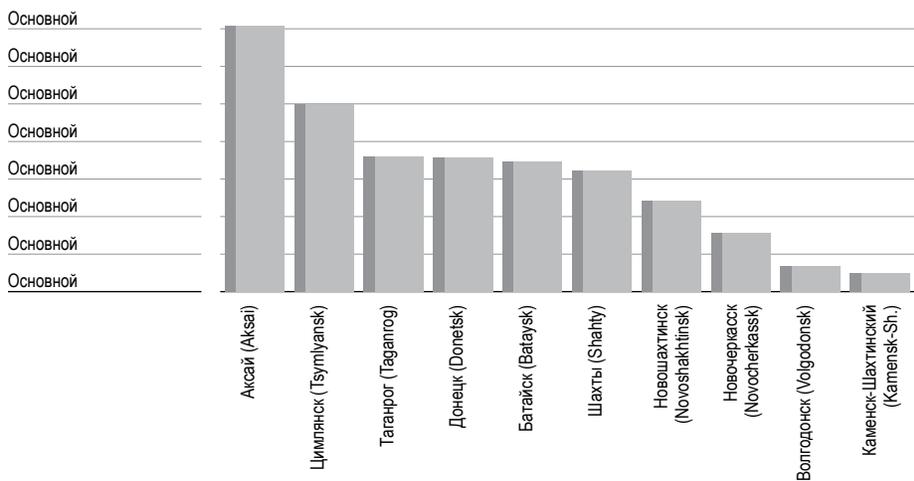


Рис. 1. Удельный вес объявлений «сдам русской семье» в городах Ростовской области, 14.02.2018 г. [В остальных городах Ростовской области объявлений этнофобского характера не выявлено].

го Кавказа, что объясняется пониженной долей русского населения. Здесь было выявлено только 4 объявления типа «сдам русской семье» в Северной Осетии-Алании и Дагестане. При этом объявлений о сдаче лицам из представителей титульных этносов нами не выявлено.

С учетом уровня дискриминации мигрантов на рынках аренды жилья и отрицательного к ним отношения со стороны принимающего сообщества (по субъективным данным социологических опросов), целесообразно выделить три типа регионов Северного Кавказа по уровню мигрантофобии: высокий, средний и низкий типы. К первому типу, с высоким уровнем мигрантофобии, относятся большинство (3 из 4) субъектов Северного Кавказа с преобладающим русским населением (Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский края). Средний уровень мигрантофобии выявлен в Республике Адыгеи, где также преобладает русское население. К третьему типу мигрантофобии, с низким её уровнем, относятся остальные республики Северного Кавказа.

Внутрирегиональный анализ (без учета республик Северного Кавказа) продемонстрировал неоднородность уровня мигрантофобии. Наибольшие различия были обнаружены между городской и сельской местностями, а также между городами разной величины. В селах, поселках городского типа и малых городах доля объявлений с этнической окраской значительно ниже, чем в крупных городах. Так, удельный вес объявлений «сдам русской семье» в целом по Ростовской области, Краснодарскому и Ставропольскому краям

Таблица 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЯВЛЕНИЙ О СДАЧЕ ЖИЛЬЯ РУССКОЙ СЕМЬЕ ПО ТИПАМ ГОРОДОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ, КРАСНОДАРСКОГО И СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЕВ, 14.02.2018 Г. (% к итогу)

Тип городов	%
Город-миллионер*	5,7
Крупнейший город (500–1000 тыс. чел.)**	3,5
Крупные города (250–500 тыс. чел.)	4,7
Большие города (100–250 тыс. чел.)	2,9
Средние города (50–100 тыс. чел.)	3,6
Малые города (до 50 тыс. чел.), поселки городского типа и сельская местность	2

* Ростов-на-Дону

** Краснодар

Таблица 5. УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ОБЪЯВЛЕНИЙ О СДАЧЕ ЖИЛЬЯ РУССКИМ (СЛАВЯНАМ) ПО РОССИИ И СУБЪЕКТАМ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ДО И ПОСЛЕ ТЕРАКТА В ПЕТЕРБУРГСКОМ МЕТРО (% К ИТОГУ)

Регионы	15.01.2017 г.	20.04.2017 г.	14.02.2018 г.
Ставропольский край	2,7	4,1	2,7
Краснодарский край	2,8	3,5	2,8
Ростовская область	4,7	6,5	4,7
Адыгея	1,5	1,8	1,5
Карачаево-Черкесия	0	0,6	0
Кабардино-Балкария	0	0,1	0
Северная Осетия – Алания	0,1	0,1	0,1
Ингушетия	0	0	0
Чеченская республика	0	0	0
Дагестан	0,1	0	0,1
Всего по Северному Кавказу	2,8	3,7	0
Всего по России	4,7	8,4	6,5

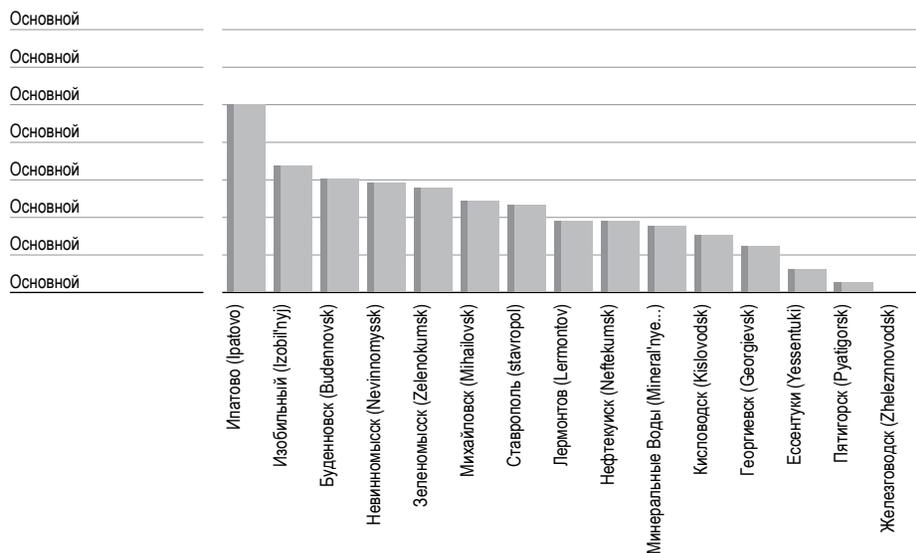


Рис. 2. Удельный вес объявлений «сдам русской семье» в городах Ставропольского края, 14.02.2018 г. [В остальных городах Ставропольского края объявлений этнофобского характера не выявлено].

составляет 4%, тогда как в сельской местности, малых городах и поселках городского типа только – 2%. На Северном Кавказе самый высокий уровень этнической дискриминации на рынке аренды жилья наблюдается в городе-миллионере Ростове-на-Дону (5,7%). Несколько ниже этот показатель среди горожан других крупнейших, крупных, больших и средних городов (табл. 4).

Особенно высокий уровень мигрантофобии отмечается в городах Ростовской агломерации – в Аксае, Таганроге и Батайске (рис. 1).

В Ставропольском крае обнаружилась важная особенность, связанная с пониженным уровнем этнических объявлений о сдаче жилья в курортных городах – Пятигорске, Ессентуках, Железноводске, Кисловодске. Возможно, это связано с курортной спецификой рынка жилья данных территорий. В свою очередь, в некурортных поселениях этот показатель значительно выше (рис. 2).

Напротив, в курортных городах Краснодарского края (Анапа, Сочи, Геленджик), уровень мигрантофобии один из самых высоких в регионе (4,6–6,2%), что вероятно связано с более интенсивными здесь потоками этнических миграций (рис. 3).

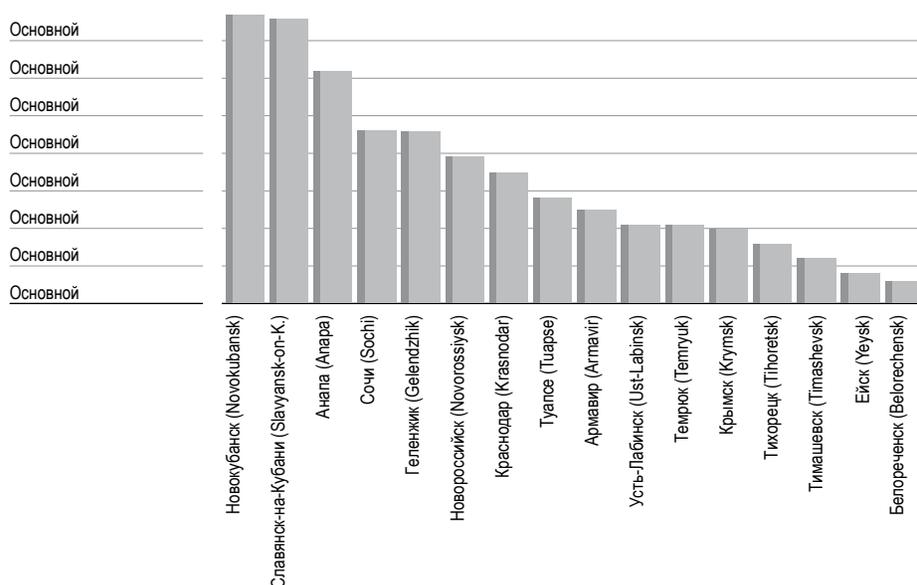


Рис. 3. Удельный вес объявлений «сдам русской семье» в городах Краснодарского края, 14.02.2018 г. [В остальных городах Краснодарского края объявлений этнофобского характера не выявлено].

Мониторинг уровня мигрантофобии на рынке аренды жилья показал его тесную зависимость от состояния террористической ситуации в стране. Сразу после теракта в петербургском метро, произошедшем 3 апреля 2017 г. и в ходе последующих оперативных мероприятий связанных с задержанием организаторов теракта из среды центрально-азиатских мигрантов, значительно увеличилось доля объявлений с этнической окраской. Контент-анализ объявлений на сайте «Авито» проведенный 20 апреля 2017 г. показал, что удельный вес объявлений о сдаче русской или славянской семье в России с января 2017 года вырос почти вдвое (с 4,7 до 8,4%) во всех субъектах Северного Кавказа с преобладанием русского населения. Впоследствии по мере нормализации ситуации удельный вес мигрантофобии снизился (табл. 5).

Выводы

В целом уровень мигрантофобии на рынках аренды жилья в регионах Северного Кавказа не высокий. Существенные скачки уровня мигрантофобии зависят от роста явных или потенциальных террористических угроз в России.

Уровень мигрантофобии пространственно дифференцирован. Наиболее высокие показатели характерны для регионов с преобладанием русского населения (Ростовской области, Ставропольского и Краснодарского краев, республики Адыгеи). В других северокавказских республиках мигрантофобия не выражена.

Внутрирегиональные различия в уровне мигрантофобии зависят от типа поселения. В сельских населенных пунктах негативное отношение к мигрантам встречается реже, чем в городах. Второй по значимости фактор – величина города. Как правило, чем крупнее город, тем больше этнически окрашенных объявлений на местном рынке жилья. Исключения составляют отдельные поселения с особыми обстоятельствами политического, социально-экономического, историко-культурного или демографического плана (например, Будённовск в Ставропольском крае, Аксай в Ростовской области, который фактически является «спальным районом» Ростова, с высокими показателями мигрантофобии; или города Кавказских Минеральных Вод с неожиданно низкими показателями).

Очевидно, что в условиях использования иностранной рабочей силы в России, а также протекания активных этнических миграций необходимо учитывать при проведении национальной и миграционной политики фактор мигрантофобии, который оказывает влияние на интеграцию мигрантов. Для того чтобы избежать негативных последствий интеграционных процессов важным механизмом миграционной политики в регионах Северного Кавказа с преобладающим русским населением может стать проведение мероприятий по формированию к этническим мигрантам доброжелательного отношения. В свою очередь, для мигрантов требуется проведение кампаний направленных на ознакомление их с культурой принимающих региональных сообществ. Для выработки адекватных мер позволяющих смягчить проблему мигрантофобии необходимо оперативно проводить мониторинговые исследования данного вопроса.

Библиографический список

1. Авдеев Е.Н., Соловьев И.А., Волосенкова Е.В., Кубанова М.Н. Мигрантофобия и этническая неприязнь в молодежной среде Северного Кавказа // Миграция в зеркале стран СНГ (молодежный ракурс); под ред. И.Н. Молодиковой. М., 2006. С. 184–207.
2. Авксентьев В.А., Бабкин И.О., Хоц А.Ю. Этноконфликтологическая ситуация в Ставропольском крае (на материалах социологических исследований) // Социальные конфликты: экспертиза, прогнозирование, технология разрешения. Вып. 18. М.; Ставрополь, 2002. 138 с.
3. Витковская Г. Вынужденная миграция и мигрантофобия в России // Нетерпимость в России: старые и новые фобии / под ред. Г. Витковской и А. Малашенко. М.: Моск. центр Карнеги, 1999. С. 151–191.
4. Гидденс Э. Социология / Научн. ред. В.А. Ядов. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. С. 237.
5. Межэтнические и конфессиональные отношения в Северо-Кавказском федеральном округе. Экспертный доклад / под ред. В.А. Тишкова, В.В. Степанова. М.: ИЭА РАН, Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2013. С. 24–25.
6. Миграция и безопасность в России / под ред. Г.Витковской и С.Панарины; Моск. Центр Карнеги. М.: Интердиалект, 2000. С. 267–328.
7. Мукомель В.И. Миграционная политика в России: Постсоветские контексты / Институт социологии РАН. М.: Диполь-Т, 2005. С. 225.
8. Савва М.В. «Основные подходы к профилактике межнационального конфликта силами СМИ» // СМИ и межэтнические отношения в Краснодарском крае. Краснодар, 2003. С.15–18
9. Соловьев И.А. Миграционные процессы на Северном Кавказе: проблемы адаптации и интеграции мигрантов. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2017. С. 300–306.

References

1. Avdeev E.N., Soloviev I.A., Volosenkova E.V., Kubanova M.N. Migrantofobiya i ehtnicheskaya nepriyazn' v molodezhnoj srede Severnogo Kavkaza [Migrant-phobia and ethnic hostility in the youth environment of the North Caucasus]. Migraciya v zerkale stran SNG (molodezhnyj rakurs). Pod red. I.N. Molodikovoj. Moskva, 2006, pp. 184–207.
2. Avksent'ev V.A., Babkin I.O., Hoc A.YU. Ehtnokonfliktologicheskaya situaciya v Stavropol'skom krae (na materialah sociologicheskikh issledovanij) [Ethnoconflicological situation in the Stavropol Territory (based on sociological research)]. Social'nye konflikty: ehkspertiza, prognozirovanie, tekhnologiya razresheniya. Moskva–Stavropol, 2002, Vol. 18, 138 p.

3. Vitkovskaya G. Vynuzhdennaya migraciya i migrantofobiya v Rossii// Neterpimost' v Rossii: starye i novye fobii [Forced Migration and Migrant Phobia in Russia // Intolerance in Russia: Old and New Phobias]. Pod red. G. Vitkovskoj i A. Malashenko. Moskva, 1999. pp. 151–191.
4. Giddens EH. Sociologiya [Sociology]. Nauchn. red. V.A. YAdov. Moskva, 1999, p. 237.
5. Mezhehtnicheskie i konfessional'nye otnosheniya v Severo-Kavkazskom federal'nom okruge. EHKspertnyj doklad [Interethnic and confessional relations in the North Caucasus Federal District. Expert report]. Pod red. V.A. Tishkova, V.V. Stepanova. Moskva–Stavropol: Izd-vo SKFU, 2013, pp. 24–25.
6. Migraciya i bezopasnost' v Rossii [Migration and Security in Russia]. Pod red. G. Vitkovskoj i S. Panarina; Mosk. Centr Karnegi. Moskva: Interdialekt, 2000, pp. 267–328.
7. Mukomel' V.I. Migracionnaya politika v Rossii: Postsovetskie konteksty [Migration Policy in Russia: Post-Soviet Contexts]. Institut sociologii RAN. Moskva: Dipol'-T, 2005, p. 225.
8. Savva M.V. «Osnovnye podhody k profilaktike mezhnacional'nogo konflikta silami SMI» ["The main approaches to the prevention of interethnic conflict by the media"]. SMI i mezhehtnicheskie otnosheniya v Krasnodarskom krae. Krasnodar, 2003, pp. 15–18.
9. Soloviev I.A. Migracionnye processy na Severnom Kavkaze: problemy adaptacii i integracii migrantov [Migration processes in the North Caucasus: problems of adaptation and integration of migrants]. Stavropol: Izd-vo SKFU, 2017, pp. 300–306.

УДК 911.3:33+656

**Ротанова И.Н. [Rotanova I.N.],
Тикунов В.С. [Tikunov V.S.]****ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ
АЛТАЙСКОГО КЛАСТЕРА
МЕЖДУНАРОДНОГО ТУРИЗМА
В КОНТЕКСТЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ
ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОЯСА
ШЕЛКОВОГО ПУТИ****Approaches of formation of the altai cluster
of international tourism in context
of transcontinental transport corridors economic
zone of the silk road**

Вопрос о том, как будет развиваться международный приграничный туризм в Алтайском интеррегионе (туристская дестинация «Большой Алтай»), в частности, с позиции формирования национальных и трансконтинентальных транспортных коридоров, актуален в национальном и геополитическом значениях. В статье рассмотрен ряд аспектов, посвященных рекреационно-географическому обоснованию модернизации Алтайского сегмента транспортной инфраструктуры Сибири в условиях развития международного приграничного туризма. Фактором, способствующим развитию Алтайского кластера международного туризма в контексте транспортной инфраструктуры, является перспектива формирования Алтае-Синьцзянского транспортного сегмента в рамках реализации китайской инициативы «Экономического пояса Шёлкового пути». Создание современной модели транспортной системы юго-востока Западной Сибири как инфраструктуры туризма вызывает необходимость проведения анализа эколого-природной и рекреационно-экономической среды на основе разработанной системы факторов и показателей транспортной обеспеченности с применением SWOT-анализа, рейтингового подхода и геоинформационно-картографического мониторинга.

The question of how to develop international cross-border tourism in the Altai region (tourist destination «Great Altai»), in particular, in the context of national and transcontinental transport corridors is important. The article deals with aspects devoted to the economic and geographical justification of the Altai segment of the Siberian transport infrastructure in the context of international cross-border tourism. The condition that contributes to the development of the destination of the Greater Altai international tourism, in particular, transport infrastructure, is the prospect of connecting to the implementation of the Chinese initiative of the «Silk Road Economic Belt», in particular, the Altai-Xinjiang transport hub. The creation of a modern model of the transport system in south-east of Western Siberia as a tourism infrastructure makes it necessary to analyze the ecological, natural and socio-economic environment on the basis of the developed system of factors and indicators of transport security using SWOT-analysis and geoinformatical-cartographic monitoring.

Ключевые слова: Алтай, Большой Алтай, Алтайский интеррегион, транспортный коридор, Экономический пояс Шелкового пути, туристская дестинация.

Key words: Altai, Great Altai, Altai interregion, transport corridor, Economic Belt of the Silk Road, tourist destination.

Введение

Китайская инициатива воссоздания древнего Шёлкового пути как символа трансконтинентального транспортного коридора нового времени привлекла к участию в этом проекте более 30 стран. Можно ожидать, что современная коммуникационная артерия Шёлкового пути станет реальной инновацией для стран, находящихся в его зоне (прежде всего, стран Центральной Азии), и будет способствовать их конкурентным преимуществам. Этот исторический международный мегакоридор стал экономическим и культурным мостом между Востоком и Западом. Шёлковый путь формировался как транспортная артерия между Азией и Европой в течение длительного времени и оптимизировался в соответствии с требованиями времени. В начале третьего тысячелетия человечество находится в поиске новых моделей глобального сотрудничества, используя опыт многовековых коммуникационных транспортных коридоров. Современный мир не мыслим без развития инновационных транспортных сетей в виде взаимодополняющих друг друга скоростных железнодорожных и автомобильных дорог, определяющих возможности повышения уровня развития экономики, туризма и, как следствие этого, повышение качества жизни населения.

Материалы и методы исследования

Для решения рассматриваемой в статье проблематики использовались системный анализ, витальный подход к исследованию организационных систем; был применен индикаторный SWOT-анализ как инструмент быстрой оценки стратегического положения Алтайского региона.

Стратегическая концепция «Экономического пояса Шёлкового пути», выдвинутая председателем КНР Си Цзиньпинем, включает пять базовых коммуникаций – основополагающих векторов развития мирового значения: политические, транспортные, торговые связи, денежное обращение и гуманитарное взаимодействие. Все они значимы и необходимы в контексте развития международного туризма, с одной стороны, как сферы бизнеса, с другой стороны, укрепления гуманитарных отношений между странами.

В концепции «Экономического пояса Шёлкового пути» под *политическими связями* понимается формирование стратегии и совершенствование механизмов экономического развития стран с учетом их стремления к взаимодействию при сохранении имеющихся различий, а также совместное планирование международного регионального сотрудничества, в частности, сферы туризма, на основе политических и правовых договоренностей между странами.

Укрепление *транспортных связей* направлено на улучшение трансграничной транспортной инфраструктуры, строительство транспортных магистралей и сетей, соединяющих Китай со странами Центральной Азии и Ев-

ропы, улучшение условий для экономического развития и передвижения людей, что также является необходимым и важным в развитии туризма.

Торговые связи в рамках стратегической концепции предполагают создание выгодных условий для инвестиций, снятие барьеров для торговли, уменьшение расходов и улучшение темпа и качества регионального экономического обращения товаров и услуг.

Взаимодействие в области модернизации **денежного обращения** создаст возможности для ведения расчетов с использованием национальных валют, что уменьшит расходы, позволит противостоять финансовым рискам и повысит международную конкурентоспособность в Центральной Азии.

Важной составляющей геополитики «Экономического пояса Шёлкового пути» является сфера **гуманитарных связей** – развитие общих устремлений народов к взаимодействию, позволит улучшить дружеские связи, углубить взаимопонимание и положит начало международному сотрудничеству на социальном уровне [Сыроежкин, 2017].

Перспектива подключения стран Центральной Азии, Монголии и России к реализации китайской инициативы «Экономического пояса Шёлкового пути» практически открывает дорогу к «Большой Центральной Азии» («Большой Азии») – новой модели глобального сотрудничества. Алтайский интеррегион, в который входят два субъекта Российской Федерации: Алтайский край и Республика Алтай; Восточно-Казахстанская область Республики Казахстан; северо-западные аймаки Монголии, в частности, Баян-Ульгийский и Ховдский; а также Синьцзян-Уйгурский автономный район (СУАР) Китайской народной республики, может рассматриваться как узловым элементом («ядром») международной экономической зоны азиатского сотрудничества и, соответственно, Алтае-Синьцзянский международный транспортный сегмент.

Результаты исследования и их обсуждение

Алтайский интеррегион в рамках стратегии нового Шёлкового пути. Актуальность формирования Алтае-Синьцзянского международного транспортного сегмента обусловлена повышенным вниманием общества к вопросам развития мировой транспортной системы в контексте трансконтинентальных транспортных мегапроектов, меридиональных и широтных транспортных коридоров.

Сегодня невозможно переоценить роль транспорта на просторах Сибири, в частности, в Алтайском регионе. Сфера транспортных коммуникаций является одной из приоритетных отраслей экономики Сибири и России в целом. Поэтому анализ современной ситуации и вопрос о направлениях развития транспортной системы в российском Алтае, имеют принципиальное значение.

В Алтайском крае функционируют авто – и железнодорожные транспортные сети, соединяющие Россию с Казахстаном, государствами Центральной Азии. Через Республику Алтай проходит автомагистраль, соединяю-

щая Россию с Монголией – Чуйский тракт, строится автодорога в Республику Казахстан. Прямого автомобильного сообщения с Китайской Народной Республикой не существует, хотя Республика Алтай непосредственно граничит с Синьцзян-Уйгурским автономным районом Китая, где протяженность границы составляет немногим более 50 км, и проходит она в высокогорной малодоступной области Алтая. На территории Республики Алтай отсутствует железнодорожный транспорт, что является негативным фактором развития региона (рис. 1).

Исторически доказано, что наиболее выгодные условия для экономического развития имеются у тех районов, через которые проходят основные транспортные пути. Более выгодное положение в Сибири занимают регионы, через территории которых проходит Транссибирская магистраль. Однако, в связи с тем, что Транссибирская магистраль имеет недостаточно разветвленную систему, а площадь, занимаемая Сибирью, велика, необходимо создание новых транспортных коридоров и мультимодальных узлов [Голубчиков, Тикуннов, 2013; Cui Weihong et. al., 2014]. На сегодняшний день эта проблема является весьма существенной и актуальной.

В качестве китайского форпоста, ориентированного на Центральную Азию и Европу, выступает Синьцзян. В последние годы в СУАР построены новые заводы, скоростные дороги и жилые кварталы. Многие транснациональные компании разместили здесь свои представительства, существенных успехов добились и местные предприятия. Преобразуется китайско-казахстанское приграничье. Развивается сеть контрольно-пропускных пунктов (КПП), так приграничные города китайско-казахстанской границы (Хоргос, Тачэн) преобразованы в КПП для открытия торговых коридоров и пригранично-трансграничного туризма. Осуществляются международные грузовые железнодорожные перевозки. Развитие Шелкового пути на китайско-казахстанской границе меняет образ жизни местных жителей, возрастает количество предпринимателей, в частности, в сфере производства продуктов питания, гостеприимства, услуг [Первухин, 2014].

Правительство Китая намерено в течение десяти ближайших лет резко повысить объем товарооборота со странами вдоль нового Шелкового пути, что создаст для СУАР возможность стать крупным международным торговым узлом и ведущим финансово-экономическим центром Центральной Азии. На это направлены меры, содействующие укреплению отношений с соседними торговыми партнерами: перемены в дипломатической политике, уменьшение таможенных тарифов, строительство инфраструктуры и др. В связи с развитием «Экономического пояса Шелкового пути» в перспективе ожидаются новые экономические и туристские проекты. Несомненно, что новые проекты будут способствовать не только развитию сферы экономики, но и сферы досуга и оздоровления – развитию внутреннего и международного туризма в СУАР, а также в Алтайском регионе – Большом Алтае.



Рис. 1. Политическое и административно-территориальное деление «Большого Алтая».

Алтайский кластер международного туризма в аспекте транспортных мегапроектов. Туризм начала XXI века – глобальное экономическое и социокультурное явление мира. Сегодня туризм относится к крупнейшим и наиболее динамично развивающимся отраслям мирового хозяйства, опережающим по темпам роста многие другие отрасли мировой экономики. В Алтайском приграничье, охватывающем территории четырех государств (России, Казахстана, Китая и Монголии), под патронажем Международного координационного совета «Наш общий дом Алтай» на протяжении последних пятнадцати лет формируется международная туристско-рекреационная дестинация «Большой Алтай». Для того чтобы территория могла рассматриваться как туристско-рекреационная дестинация, она должна отвечать ряду основных требований, среди которых предложение определенного набора услуг, отвечающих потребностям туриста и удовлетворяющих его спрос на транспортную доставку, размещение, питание, развлечения, досуг и т.д. [Ротанова, 2015].

Приоритет развития сферы туризма в Большом Алтае способствует формированию и продвижению туристской дестинации этого международного трансграничного региона.

Приграничное сотрудничество на Алтае четырех государств обусловлено историческими предпосылками. В течение многих веков гигантское горное пространство (площадью около 30 тысяч квадратных километров) соединялось культурными, этническими, торгово-экономическими, политическими, миграционными связями. Существуют историко-культурные доказательства того, что некоторые ответвления древнего караванного Шёлкового пути проходили и по территории Большого Алтая [Харламов, Харламова, 2014].

Перспективы Большого Алтая как туристской дестинации, в первую очередь, обусловлены наличием природных ресурсов, потенциал которых значителен и разнообразен. Многообразие природно-климатических условий, создаваемое горными и котловинными формами рельефа, высотными и экспозиционными особенностями определяет богатый набор обитающих здесь видов и сообществ флоры и фауны. Это обусловлено особенностями географического положения, оцениваемыми многими изучавшими его исследователями как уникальность и феномен этого региона, что определяет благоприятные условия для реализации различных видов экологического и природно-познавательного туризма.

Стратегия правительств стран Большого Алтая в области финансирования природоохранной деятельности ориентирует функционирующие природные резерваты на развитие туризма. Алтайский интеррегион богат археологическими и историко-культурными ценностями, этнокультурным разнообразием, дошедшим до наших дней традиционным жизненным укладом и бытом населяющих его народов. Здесь вступают в межкультурное взаимодействие представители славянского, тюркского, монгольского и китайского этносов. Алтай – своеобразный центр евразийской этнокультурной консолидации. Значимость природных и культурных ценностей Алтая подтверждена включением в Список объектов Всемирного природного и культурного наследия номинации «Золотые горы Алтая» (Россия), состоящей из пяти кластеров: Алтайский и Катунский государственные биосферные природные заповедники, природный парк «Белуха», природный парк «Зона покоя Укок» и Телецкое озеро. Примечательно, что объект «Золотые горы Алтая» может в ближайшее время стать международным, четырехсторонним объектом Всемирного природного и культурного наследия ЮНЕСКО, расширившись на сопредельные страны – Китай, Монголию и Казахстан [Ротанова, Харламова, 2014].

Туристская дестинация «Большой Алтай» является весьма перспективной для развития международного и трансграничного природно-познавательного, экологического и адекватного туризма. Практически в любой части

Большого Алтая может быть создан полноценный туристский продукт, пригодный для практической реализации.

Развитие в пределах Большого Алтая международного туризма относится к приоритетным и первостепенным областям сотрудничества расположенных здесь стран. Разработан и получает апробацию трансграничный кольцевой маршрут «Алтай — золотые горы», проходящий через наиболее привлекательные территории Алтайского края, Республики Алтай, Ховдского и Баян-Ульгийского аймаков Монголии, Восточно-Казахстанской области Казахстана и Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая. Появление такого маршрута можно считать объективно сложившимся трансграничным туристским продуктом, способным сыграть большую роль в экономическом и гуманитарном сотрудничестве в Большом Алтае. Решение о нем было принято международным координационным советом «Наш общий дом — Алтай» на уровне глав приграничных регионов Алтая. В 2007 и в 2012 гг. состоялись две экспедиции по трансграничному автомобильному кольцевому маршруту, в которых приняли участие представители туристического бизнеса, органов власти приграничных территорий, средств массовой информации, Международного координационного совета «Наш общий дом Алтай» всех четырех государств, подтвердившие актуальность и реальность данного проекта.

Профессионалы туристского бизнеса находят этот международный маршрут вполне перспективным, считают, что он сможет привлечь достойное внимание на международном туристском рынке, однако опасаются, что его реализации в ближайшее время могут угрожать бюрократические сложности и проблемы межгосударственных отношений, а также практическое отсутствие комфортной транспортной доступности.

Организация турфирмами приграничных регионов новых брендовых международных туристских маршрутов на территории Большого Алтая направлена на повышение конкурентоспособности на рынке туристских услуг и развитие молодой туристской дестинации. Именно с этой точки зрения рассматриваются различные программы развития туризма, связанные с феноменом Шёлкового пути. К ним можно отнести участие в совместном проекте ЮНВТО/ЮНЕСКО «Стратегия развития туризма с использованием коридорного подхода к наследию Шёлкового пути». Администрацией Алтайского края и Туристским центром Алтайского края был реализован проект по разработке международного туристского маршрута «Шёлковый путь» в пределах Алтайского края. Он включает автомобильное (автобусное) путешествие продолжительностью 7 дней и протяженностью более 1200 км по территории 8 районов и 3-х городов Алтайского края с посещением объектов туристского интереса, как относящихся ко времени действия Шёлкового пути, так и возникших в другие периоды, не связанные с историей Шёлкового пути, но представляющие интерес в качестве объектов туризма международного значения [Харламов, Харламова, 2014].

Несомненно, что Китай является всемирно признанной дестинацией Шёлкового пути. Участие России, в том числе Алтайского края, в формировании единого информационного туристского пространства и единого туристского бренда «Великий Шёлковый путь» будет способствовать как сохранению и популяризации историко-культурного наследия, развитию культурно-познавательного туризма, так и продвижению туристской дестинации «Большой Алтай». **Стартовым может стать** трансграничный маршрут по Алтаю в рамках программы Всемирной туристской организации «Великий Шёлковый путь», обсуждение и согласование которого китайской и российской сторонами происходило в Урумчи в 2014 году [Ротанова, 2013; Харламов, Харламова, 2014].

Векторы развития и вызовы действительности.

Концепция «Экономического пояса Шёлкового пути» представляет собой новую возможность международного сотрудничества в сфере транспорта, торговли, инвестиций, гуманитарных отношений. Продвижение экономического взаимодействия, в первую очередь базирующееся на создании международного транспортного коридора, позволит существенно повысить деловую активность прилегающих регионов в сервисной индустрии, инфраструктурных отраслях, а также в туризме.

Вопросы развития транспортных коридоров, в частности, трансконтинентальных, начали активно рассматриваться на рубеже XX–XXI вв., и более широко – с начала второго десятилетия XXI века [Приграничные..., 2010; Башалханова, Веселова, Корытный, 2012; Иноземцев, Зубов, 2013; Тулохонов, 2013, 2014, Иванов и др., 2017 и др.].

Большой Алтай может стать одной из «интеграционных зон» в силу сложившихся здесь приграничных связей, прохождения традиционных торговых маршрутов, путей миграции населения и других условий, сформировавшихся под влиянием естественных географических факторов.

Туристско-рекреационный потенциал региона «Большой Алтай» создает условия для организации самых различных видов отдыха и оздоровления, привлекает сохранившимися феноменами истории и культуры.

Разработка модели современного транспортного коридора является актуальной и сложной междисциплинарной задачей. Диагностика территории в аспекте развития транспортных коридоров в рамках модели трансконтинентальной транспортной системы в целях обеспечения устойчивого развития требует привлечения широкого спектра географических данных и методов знаний, а также данных и методов смежных наук, в первую очередь, экономики, дистанционного зондирования, математического моделирования, информатики. В постановке задачи – диагностической оценке условий и ресурсов, а также в разработке геоинформационной модели транспортной системы Алтайского регионального кластера в контексте трансконтинентальных транс-

портных коридоров и мультимодальных узлов на основе принципов устойчивого развития научная проблема формулируется впервые. В целях исследования векторов развития и вызовов действительности применен индикационный SWOT-анализ, позволяющий выявить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы для формирования туристской дестинации Большого Алтая в соответствии с концепцией «Экономического пояса Шёлкового пути» (табл.).

Таблица. SWOT-АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТУРИСТСКОЙ ДЕСТИНАЦИИ «БОЛЬШОЙ АЛТАЙ» В КОНТЕКСТЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ [по 7, 8]

Сильные стороны	Слабые стороны
<ol style="list-style-type: none"> 1. Выгодное географическое положение вблизи прохождения планируемых транспортных магистралей «Экономического пояса Шёлкового пути». 2. Уникальный природный, экологический и ресурсный потенциал региона, богатое био- и ландшафтное разнообразие. 3. Уникальное культурно-историческое наследие. 4. Наличие сети природоохранных учреждений для развития туризма. 5. Наличие и приемлемый уровень туристской инфраструктуры. 6. Поддержка на государственном и региональном уровне развития международного туризма, наличие федеральных и региональных стимулирующих программ. 7. Растущий из года в год поток туристов, в том числе наличие внутреннего спроса. 8. Отсутствие приграничных конфликтов. 9. Опыт многолетнего международного сотрудничества в регионе. 10. Наличие сформированного продукта туристского интереса для различных категорий туристов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выраженная континентальность и сезонность климата, экстремальные климатические явления. 2. Значительная удаленность многих потенциально привлекательных туристических объектов и недостаточность подготовки их для приема туристов. 3. Недостаточный уровень транспортного обеспечения и транспортной логистики. 4. Медленное развитие инфраструктуры объектов туризма. 5. Отсутствие единых стандартов туристского обслуживания. 6. Низкий уровень жизни населения. 7. Высокие транспортные тарифы. 8. Недостаточный уровень таможенного и визового сервиса.

Возможности	Угрозы
<ol style="list-style-type: none">1. Возможность развития международных и региональных транспортных магистралей и сетей, транспортно-логистических центров, придорожной инфраструктуры и сопутствующего сервиса высокого уровня.2. Возможность для развития широкого диапазона видов туризма.3. Снижение зависимости от фактора сезонности за счет строительства новых круглогодичных комплексов, горнолыжных трасс.4. Инвестиционные проекты инфраструктуры туристской отрасли и гостиничного комплекса и их государственная поддержка.5. Значительное увеличение мест размещения и объектов питания.6. Внедрение стандартов туристского обслуживания, гостеприимства и сервиса.7. Финансирование туризма со стороны государства и региональных администраций.8. Рост интереса мировых и российских гостиничных сетей.9. Повышение уровня жизни населения, следовательно, увеличение платежеспособного спроса.10. Развитие сотрудничества с приграничными, соседними и другими регионами.	<ol style="list-style-type: none">1. Продолжение снижения численности населения.2. Угроза существования объектов историко-культурного наследия из-за бурного роста объемов строительства на объектах туристической инфраструктуры без проведения охранных мероприятий.3. Быстрое истощение ресурсов.4. Экологические проблемы.5. Снижение количества туристов.6. Большое количество сильных конкурентов.7. Недостаточная концентрация капитала и отсутствие стратегических инвесторов.

Индикационный SWOT-анализ как инструмент быстрой оценки стратегического положения региона свидетельствует, что стратегия развития должна как можно выгоднее сочетать внутренние возможности территории (ее сильные и слабые стороны) и внешнюю ситуацию (частично отраженную в возможностях и угрозах). Можно сделать вывод о том, что туристская дестинация «Большой Алтай» имеет перспективы конкурентоспособности и развития на международном рынке. Реализация концепции «Экономического пояса

Шёлкового пути», поддержка туристической индустрии со стороны четырех государств и приграничных регионов, наличие стимулирующих программ предоставляют огромные возможности для эффективного развития туризма и создания качественного и узнаваемого туристского продукта Большого Алтая [Ротанова, 2013, 2015; Харламов, Харламова, 2014].

Комплексность и многоаспектность задач требуют привлечения современных геоинформационных технологий, которые позволяют, с одной стороны, представить территориально-функциональную структуру территории в виде нескольких информационных картографических слоев (базовых, тематических и интегральных), а с другой, выделить основные стадии трансформации этой структуры, в том числе, в аспекте развития транспортных систем различного масштаба.

В числе новационных подходов разработка научно обоснованного комплекса рейтингов элементов транспортного мегакоридора, что также следует считать относительно новой задачей, несмотря на популярность рейтингов и их соответствие современным системам управления. До настоящего времени рейтинги как способ ранжирования элементов исследуемой системы использовались в значительной степени *ad-hoc* (*лат., специально, по особому случаю, ситуативно*), на основании субъективных оценок или объективно определяемых частных показателей.

Выводы

Проблема междисциплинарной интеграции заключается в формировании единого образа обстановки для системы управления и, соответственно, разных пространственных масштабов представления информации. В задаче создания модели трансконтинентального транспортного коридора эта проблема встает особенно остро, поскольку необходимо гармонизировать процессы, происходящие в разных масштабах: от континентального до уровня отдельного транспортного узла коридора (такого, как Алтайский сегмент транспортной системы Сибири). Качественное развитие транспорта, формирование Алтайского сегмента международной транспортной системы будет способствовать ускорению экономического развития Алтайского региона, а также формированию устойчивых тесных экономических связей с более развитыми центральными районами России, а также зарубежными странами, в том числе приграничными территориями Казахстана, Китая, Монголии – Большим Алтаем.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17–55–53109.

Библиографический список

1. Баденков Ю.П., Ротанова И.Н. Новые природоохранные инициативы и подходы в Алтае-Саянском экорегионе // Ползуновский вестник, 2011. № 4–2. С. 34–38.
2. Башалханова Л.Б., Веселова В.Н., Корытный Л.М. Ресурсное измерение социальных условий жизнедеятельности населения Восточной Сибири. – Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2012. 221 с.
3. Голубчиков Ю.Н., Тикунов В.С. Анализ программ устойчивого развития горных территорий земного шара применительно к возможностям их реализации в республике Алтай // Мир науки, культуры, образования, 2013. № 1 (38). С. 346–351.
4. Иванов А.В., Попков Ю.В., Фотиева И.В., Гупта П. Трансевразийские транспортные мегапроекты: проектные замыслы // Регион: экономика и социология, 2017. № 4 (96). С. 267–284.
5. Иноземцев В.Л., Зубов В.М. Сибирский вызов. М.: Перо, 2013. 88 с.
6. Первухин В.В. Новый Шёлковый путь // Энергетическая политика, 2014. № 3. С. 18–27.
7. Приграничные и трансграничные территории Азиатской России и приграничных стран (проблемы и предпосылки устойчивого развития) / Отв. ред. П.Я. Бакланов, А.К. Тулохонов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 610 с.
8. Ротанова И.Н. Формирование туристского продукта в пределах трансграничного региона «Большой Алтай»: проблемы и потенциал // Наука и туризм: стратегии взаимодействия: сборник статей. Вып. 2. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. С. 110–115.
9. Ротанова И.Н. Векторы развития туристско-рекреационной дестинации «Большой Алтай» в контексте создания экономического пояса Шелкового пути // Общий дом. Общий шанс: сборник статей Международного форума субрегионального экономического сотрудничества вокруг Алтайских гор в рамках ЭПШП третьего созыва. 11.08.2015. Китай. Синьцзян. Урумчи. 2015. С. 330–348 (рус., кит.).
10. Ротанова И.Н., Харламова Н.Ф. Рекреационно-географические исследования в Алтайском регионе: монография. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та. 2014. 284 с.
11. Сыроежкин К.Л. Концепция формирования «Экономического пояса на Шелковом пути»: Проблемы и перспективы// URL: <http://www.ipp.kg/ru/print/2768/>.
12. Тулохонов А.К. О роли информатизации и моделирования природных и социально-экономических систем в развитии современных географических исследований // География и природные ресурсы. 2013. № 2. С. 177–178.
13. Тулохонов А.К. Политическая география Северной Азии в условиях глобализации, или Как обустроить российскую периферию. Улан-Удэ: ЭКОС, 2014. 256 с.

14. Харламов С.В., Харламова Н.Ф. Международный туристский проект «Великий Шелковый путь» в Алтайском крае // География и природопользование Сибири, 2014. Вып. 17. С. 184–198.
15. Cui Weihong, Jiang Yang-ming, Golubchikov Yu.N., Rakhimov K.K., Sobyenin A.D., Tikunov V.S., Wang Yun-fei, Yang Xian-kun. Geographical Sybstantiation of the Pacific-Atlantic and Indo-Arctic transport Net.– Proceedings of the International Conference "Sustainable Development of Territories: Cartography and GI Support", InterCarto/InterGIS 20, Belgorod, Kharkov (Ukraine), Kigali (Rwanda), Nairobi (Kenya), 2014. P. 237–249 (кит.).

References

1. Badenkov Yu.P., Rotanova I.N. Novye prirodoohrannue iniciativy i podhody v Altae-Sayanskom ekoregione [New environmental initiatives and approaches in the Altai-Sayan Ecoregion] // Polzunovskij vestnik, 2011. No 4–2. P. 34–38 (in Russian).
2. Bashalhanova L.B., Veselova V.N., Korytnyj L.M. Resursnoe izmerenie socialnyh uslovij zhiznedeyatelnosti naseleniya Vostochnoj Sibiri [The resource dimension of social conditions of life of the population of Eastern Siberia]. Novosibirsk: Publishing house "Geo", 2012. 221 p. (in Russian).
3. Golubchikov Yu.N., Tikunov V.S. Analiz program ustojchivogo razvitiya gornih territorij zemnogo shara primenitelno k vozmozhnostiam ih realizacii v respublike Altai [The analysis of programs of sustainable development of mountain territories of the globe in relation to the possibilities of their implementation in the Republic of Altai] // World of science, culture, education, 2013. No 1 (38). P. 346–351 (in Russian).
4. Ivanov A.V., Popkov Yu.V., Fotieva I.V., Gupta P. Transevrazijskie transportnye megaproekty: proektnye zamysly [Trans-Eurasian transport mega-projects: project plans] // Region: Economy and Sociology, 2017. No 4 (96). P. 267–284 (in Russian).
5. Inozemcev V.L., Zubov V.M. Sibirskij vyzov [Siberian challenge]. M.: Pero, 2013. 88 p. (in Russian).
6. Pervuhin V.V. Novyj Shelkovuy put' [New Silk Road] // Energy policy, 2014. No 3. P. 18–27 (in Russian).
7. Prigranichnyye i transgranichnyye territorii Aziatskoj Rossii i prigranichnyh stran (problemy i predposylki ustojchivogo razvitiya [Cross-border and transboundary territories of the Asian part of Russia and bordering countries (problems and prerequisites of sustainable development)] / Ed. edited by P.Ya. Baklanov, A.K. Tulokhonov. Novosibirsk: SB RAS Publishing house, 2010. 610 p. (in Russian).
8. Rotanova I.N. Formirovanie turistskogo produkta v predelakh transgranichnogo regiona "Bolshoj Altaj": problem i potencial [The formation of the tourist product within the cross-border region "The Great Altai": problems and potential] // Science and tourism: strategies of cooperation: proceedings. Barnaul: Publishing house AltSU, 2013. Vol. 2. P. 110-115 (in Russian).

9. Rotanova I.N. Vektory razvitija turistsko-rekreacionnoj destinacii "Bolshoj Altai" v kontekste sozdaniya ekonomicheskogo pojasa Shelkovogo puti [Vectors of development of tourist and recreational destination "The Great Altai" in the context of the Silk Road Economic Belt creation] // Common house. Common chance: proceedings of articles of the international forum of sub-regional economic cooperation around the Altai mountains within the framework of the third convocation of the EBSR. 11.08.2015. China. Xinjiang.Urumchi. 2015. P. 330–348 (in Russian and Chinese).
10. Rotanova I.N., Kharlamova N.F. Rekreacionno-geograficheskie issledovaniya v Altajskom regione [Recreational and geographical research in the Altai region]: Barnaul: Publishing house AltSU. 2014. 284 p. (in Russian).
11. Syroezhkin K.L. Konceptsiya formirovaniya "Ekonomicheskogo poyasa na Shelkovom puti": problem i perspektivy [The Concept of formation of the "Silk Road Economic Belt": Problems and prospects] // URL: <http://www.ipp.kg/ru/print/2768/> (in Russian).
12. Tulokhonov A.K. O roli informacii i modelirovaniya prirodnych i socialno-ekonomicheskikh system v razvitii sovremennuch geograficheskikh issledovanij [On the role of informatization and modeling of natural and socio-economic systems in the development of modern geographical research] // Geography and natural resources. 2013. No. 2. P. 177–178 (in Russian).
13. Tulokhonov A.K. Politicheskaya geografiya Severnoj Azii v uslovijah globalizacii, ili kak obustroit' rossijskuu periferiju [Political geography of North Asia in the context of globalization, Or How to equip the Russian periphery]. Ulan-Ude: EKOS, 2014. 256 p. (in Russian).
14. Kharlamov S.V., Kharlamova N.F. Mezhdunarodnij turistskij proekt "Velikij Shelkovyj put" v Altajskom krae [The international tourist project "Great Silk Road" in the Altai territory] // Geography and environment of Siberia, 2014. Vol. 17. P. 184–198 (in Russian).
15. Cui Weihong, Jiang Yang-ming, Golubchikov Yu.N., Rakhimov K.K., Sobyenin A.D., Tikunov V.S., Wang Yun-fei, Yang Xian-kun. Geographical Sybstantiation of the Pacific-Atlantic and Indo-Arctic transport Net. – Proceedings of the International Conference "Sustainable Development of Territories: Cartography and GI Support", InterCarto/InterGIS 20, Belgorod, Kharkov (Ukraine), Kigali (Rwanda), Nairobi (Kenya), 2014, pp. 237–249 (in Chinese).

УДК 911

**Шальнев В.А. [Shalnev V.A.],
Ляшенко Е.А. [Lyashenko E.A.]****ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ГЕОГРАФИИ И ЕЁ МЕСТО
В СИСТЕМЕ НАУК****Integration processes in geography and its place
in the system of sciences**

В статье предлагается одно из направлений консолидации процессов интеграции, связанных с разработкой теоретических основ общей географии, ее ведущих концепций и категориальных понятий, единых для всего семейства географических наук. Центральное место здесь занимает учение о геоверсуме, как общем объекте изучения, и географической среде, играющей большую роль в жизни и развитии общества. Основными подходами и концепциями такой географии рассматриваются пространственный подход и концепция географического пространства, эволюционный подход и история формирования географической действительности, концепция культурогенеза и цивилизационных миров общества, системный подход и учения о геосистемах современной ландшафтной сферы (природных, общественных, парциальных и интегральных). Особое внимание уделено понятию окружающей среды места жизни человека с учетом определенных видов его жизнедеятельности.

In article one of the directions of consolidation of the processes of integration connected with development of theoretical fundamentals of the general geography, her hosts of concepts and categorial concepts uniform for all family of geographical sciences is offered. The central place is taken here by the doctrine about a geoversuma as the general object of studying, and the geographical environment playing a large role in life and development of society. Spatial approach and the concept of geographical space, evolutionary approach and history of formation of geographical reality, the concept of culture genesis and the civilization worlds of society, system approach and doctrines about the geosystems of the modern landscape sphere are considered by the main approaches and concepts of such geography (natural, public, partial and integrated). Special attention is paid to a concept of the environment of the place of human life taking into account certain types of his activity.

Ключевые слова: географическая картина мира, географический детерминизм, геоверсум, ландшафтная сфера, географические системы, географическая среда, окружающая среда места жизни человека.

Key words: geographical picture of the world, geographical determinism, geoversum, landscape sphere, geographical systems, geographical environment, environment of the place of human life.

Введение

География, возникшая еще в Древнем мире и сыгравшая большую роль в эпоху Великих географических открытий, в XVIII и XIX веках оставалась еще уважаемой, пусть и не вполне формализованной наукой. Однако в конце XIX века с появлением научных направлений общественного цикла и фундаментальных объектных естественных наук (физика, химия, биология, астрономия и др.) с хорошо разработанной теорией и методологией научного знания она не смогла в рамках описательных методов исследования

удержать эту высокую планку при переходе к *номотетическому этапу* формализации знания и распалась на множество частных научных направлений, стала системой географических наук.

Специфика географии заключается в ее положении на стыке естественных и общественных наук, поэтому большую «услугу» в разобщенности географических наук в первой половине XX века сделала идеологическая интерпретация некоторых положений философии. Это предопределило у нас обособление двух научных ветвей географии – физической (диалектика природы) и общественной (исторический материализм). Их не смогли объединить ни гуманитарное страноведение, ни хорология А. Геттнера и неохорология современной социально-экономической географии. Некоторые географические понятия и названия научных дисциплин надолго исчезли из публикаций, а авторы, использующие их, подвергались жесткой критике.

В конце XX века теоретики социальной и экономической географии большое внимание уделяли проблемам гуманизации, социологизации, экономизации, экологизации и глобализации своей науки, но не считали нужным решать вопросы географизации, «невозможной без сближения с естественно-научными дисциплинами» (Исаченко, 2008, с. 12). К тому же уникальный опыт, накопленный в ландшафтных, в том числе и прикладных исследованиях, слабо обобщен с методологических позиций научного географического детерминизма в вопросах взаимодействия человека с природой. Еще «умеренные» американские детерминисты в середине 50-х годов XX века пытались писать о роли природных условий в жизни человеческого общества. По мнению Л.Д. Стэмпа, в современном мире с его растущим населением и ограниченными земельными ресурсами «естественные факторы более важны, чем когда – либо в прошлом» (1960, с.94), поэтому географы должны изучать природную среду и ее влияние на человека, а не все проблемы, связанные с человеком (Taulor, 1953).

При анализе современного состояния методологии и теории российской и зарубежной географии с удивлением можно обнаружить, что великие идеи, сформулированные на рубеже XIX и XX веков в работах А. Гумбольдта, К. Риттера, И. Канта, В.В. Докучаева, Л.С. Берга, В.П. Семенова-Тяншанского, Э.Ю. Петри, Д.Н. Анучина, А. Геттнера, Ф. Ратцеля и других, не были использованы для дальнейшего ее развития и становления. Для этих идей был характерен целостный подход к пониманию географической действительности и географической картины мира, натурфилософское понимание единства самости, культуры и природы в географическом пространстве, что давало надежду на поиск путей интеграции географических наук.

Однако в первой половине XX века переход многих зарубежных ученых на позиции философского и географического индетерминизма оказал отрицательное влияние не только на зарубежную географию, но и географию в целом. Усилились процессы дифференциации семейства географических на-

ук и формирование новых направлений исследования (социальная география, духовная география, поведенческая география, геоэкология, экология человека и др.). Выход из создавшейся ситуации географы нашли в концепции о системе географических наук (СГН), фундамент которой составляла географическая картина мира (ГКМ).

Материалы и методы исследований

Одним из первых в 1959 г. термин «система географических наук» ввел С.В. Калесник. Предлагали свои модели СГН также УИ. Мересте и С.Я. Ныммик (1984), В.П. Максаковский (1998), Б.Н. Семевский (1981), Н.Б. Култашев (1980), Н.К. Мукитанов (1985) и многие другие. У всех авторов имелся свой субъективный подход к структуре СГН. Общим же для большинства этих моделей является наличие двух частных ГКМ – физико-географической и социально-экономики географической. Позже А. М. Колотиевский предлагает выделять уже три частных ГКМ, добавляя к известным еще и биогеографическую.

Отсутствие общей теории и методологии в системе географических наук требовало других подходов в решении этой проблемы. Поэтому Н.Н. Баранский (1956) предлагает в качестве общей методологии географии понятие «географическое мышление», которое, во-первых, привязана «к территории, кладущее свои суждения на карту, и во-вторых, связанное, комплексное, не замыкающаяся в рамках одного «элемента» или одной «отрасли». Иначе говоря, наиболее значимыми свойствами такого мышления были территориальность и комплексность. В тоже время такие широко распространенные в мировой географии понятия как пространственность и пространственный подход им не использовались в силу идеологических ограничений, действующих в то время в СССР и связанных с критикой буржуазных идей А. Геттнера. Отсюда в советской географии возникла серьезная проблема, когда термины «пространственность» и «территориальность» стали употребляться как синонимы. Несколько позже Э.Б. Алаев и Я.Г. Машбиц связывают географическое мышление современной географии с парадигмой как устоявшейся системой норм и оценок, в рамках которой и происходит познавательная деятельность, выдвигаются и решаются научные проблемы, применяются научные методы исследования. Все это расширило список научных направлений в системе географических наук, но не решала проблемы их интеграции и создания добротной теории общей географии.

Результаты исследований и их обсуждение

Особенности географической действительности и ее отражение в ГКМ, свидетельствуют о сложности географического знания, наличия разных уровней исследования и многих линий контактов с другими науками. Чтобы разобраться в этом многообразии проблем, необходимо рас-

смотреть место географии, как единой науки, в системе познания научной действительности. На рисунке 1 видно, что ее методология и история формируются в условиях значительного воздействия разных сфер научного познания. Здесь и сферы действительности – природа (I-I), общество (II-II) и мышление (III-III); и виды познания действительности – наука (α) и культура (ϕ); и виды научного мышления – логика (C1), психология (C2) и математика (C3); и культурно-конструктивное направление (H-H).

Методологическое направление познания современной географии находится в сфере мышления и базируется как на общенаучных (философских, системно-синергетических, экологических и др.), так и собственных концепциях (о геопространстве, геосреде, геодетерминизме, геосистеме) и подходах – деятельностно-геопространственном и геоадаптационном. Их категориальные понятия могут стать основой общей географии, формирующейся на пересечении основных сфер деятельности и отражающей сущность географической действительности и географического мышления.

Эмпирическое направление познания географии формируется из сферы наук информационного заимствования (наук *доноров*) и базируется в большей части на двух группах наук, как отраслевых, так и интегральных – физической и общественной географий. Последние формируют частные ГКМ, где представлены не только отдельные компоненты географической действительности, но и интегральные образования – геосферы и территориальные системы.

Культурно-конструктивное направление решает прикладные задачи в географии, связанные с территориальной организацией общества, природопользованием и процессами культурогенеза, а также общим страноведением и региональными геоинформационными системами (культурными районами и регионами), экологической географией (окружающей средой и качеством жизни), ландшафтной экологии и ландшафтного дизайна и др.

Центральным блоком в ГКМ должен является блок общей географии, формирующийся на пересечении трех сфер действительности (природы, общества и мышления), а также культурно-конструктивного направления. В парадигме изучения моделей-образов общей географии выделяются геOVERСУМ (географическая оболочка истории человека) как инвариантная сложная структура глобального географического пространства и общий объект изучения, географическая среда как эмерджентное свойство сложной системы «социум-природа» в пределах пространства геOVERСУМА и общий предмет географии, а также сфера современных ландшафтов с набором частных сфер и территориальных систем или геосистем (природных, общественных, парциальных, интегральных). На границе с культурно-конструктивной сферой формируются модели-образы интегральных геосистем антропогеографии (антропосистем, *культурных ландшафтов*).

В таком контексте выдерживаются главные компоненты ГКМ – концептуальный (общая теория с наличием учений, теорий, концепций) и чувствен-

но-образный (наличие моделей геOVERСУМА и современных ландшафтных геосистем). Понятийный аппарат этого блока наук должен быть общим для всех частных направлений в изучении ГКМ.

ГеOVERСУМ, как *общий объект географии, представляет собой сложную пространственную структуру географической действительности:*

- *возникшую и эволюционно развивающуюся в параметрах особого геопространства Земли и космоса со своей системой оборота энергии, вещества и информации;*
- *имевшую свою вертикальную (набор геосфер) и горизонтальную (набор разнокачественных территориальных систем) структуры;*
- *обладающую уникальными свойствами в связи с наличием живого вещества и культуры человеческого общества, которые изменяют его природную сущность и создают современную географическую картину мира (Шальнев, 2013,2015).*

История общества в геOVERСУМЕ определяла не просто становлением его социальных и экономических компонентов, но и усложнение всей его структуры в пределах сферы природных ландшафтов как части биосферы.

Термин ландшафтной сферы ввел Ю.К. Ефремов (1966), а современную структуру описал А.Г. Исачеко (2008). Процессы социогенеза (трудовой отбор) и техногенеза (научно-технический отбор) способствовали становлению в её пределах социальных, хозяйственных, этнических, культурно-техногенных и других компонентов и новых территориальных систем. В совокупности все эти новообразования, наиболее интенсивно проявившиеся в основном в сфере природных ландшафтов, образуют новые интегральные структуры современного геOVERСУМА – соцсферу, *культурную сферу*, техносферу и *сферу современных ландшафтов (ССЛ)*. В последней к природным территориальным системам добавляются общественные, парциальные и интегральные прородно-общественные. Границы социотехносферы за счет научно-технических разработок постепенно расширялись до выхода человека за пределы геOVERСУМА и даже Земли.

Важным событием этой стадии стало формирование «очеловеченной» (Анучин, 1978) или «второй» (Реймерс, 1990) природы в пределах ландшафтной сферы, а потом и части биосферы. Природные абиотические сферы геOVERСУМА, сохраняя свои природные качества и законы функционирования, обогатились новыми свойствами переноса вещества и энергии антропогенного происхождения, новыми глобальными и региональными круговоротами вещества и энергии типа «природа – общество», «лес – поле», «город – село» и т.д. Наиболее спорным и дискуссионным в географических публикациях

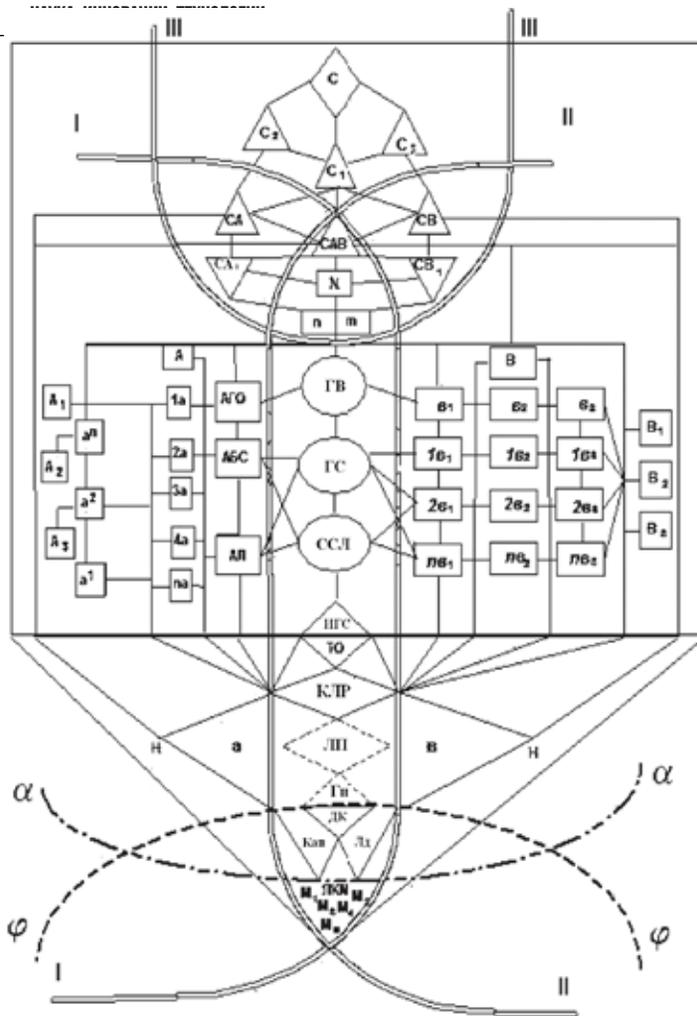


Рис. 1. География в общей системе познания действительности.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Сферы научной действительности: I-I – природа, II-II – общество, III-III – мышление.

Виды познания действительности: α – рациональное, φ – эмоциональное (культура, искусство), Н – инженерно-конструктивное.

Научное мышление: C₁ – логика, C₂ – психология, C₃ – математика.

Методологическое направление познания научной картины мира: САВ – философия, СА – диалектика природы (натурология), СВ – социальная философия. Современные подходы: СА – эволюционный (системно-синергетический), СВ – экологический.

Основные методологические направления (подходы) познания географической действительности:

Н – геопространственный и географического детерминизма, п – геоадаптационный, м – деятельностно-культурологический.

Теоретическое осмысление ГKM:

Информационное заимствование из других наук: A₁ – физика, A₂ – химия, A₃ – биология, B₁ – социология, B₂ – экономика, B₃ – геополитика и др.

Эмпирическое направление в географии или сфера наук-доноров (информационного заимствования):

А – физическая география. Пограничные науки: a₁ – геофизика, a₂ – геохимия, an – др. Отраслевые науки: 1a – геоморфология, 2a – геология, 3a – климатология, 4a – почвоведение, na – и др. Интегральные: АГО – общее земледевие, АБС – биогеография, АЛ – ландшафтоведение.

В – общественная география. B₁ – экономическая география, 1b₁ – промышленность, 2b₁ – агропромышленные комплексы, nb₁ – и др.; B₂ – социальная география: 1b₂ – география населения, 2b₂ – урбогеография, nb₂ – и др.; B₃ – политическая география: 1b₃ – геополитическая география и цивилизация, 2b₃ – география терроризма, nb₃ – и др.

Модели-образы общей географии: ГВ – геOVERСУМ (географическая оболочка истории человека), ГС – географическая среда системы «социум-природа», ССЛ – сфера современных ландшафтов с набором современных частных сфер и геосистем (природных, общественных, парциальных и интегральных), ИГС – интегральные геосистемы (антропосистемы антропогеографии, культурные ландшафты и др.).

Культурно-конструктивное направление (Н-Н): ТО – территориальная организация общества, КЛР – культурно-ландшафтное регионоведение (общее страноведение), ЛП – природопользование, Г₁ – геоинформатика, а – экологическая география, в – ландшафтная экология.

Художественное направление: ДК – духовная культура в географии, Кап – культурно-архитектурное планирование, ЛД – ландшафтный дизайн, ПKN – природное и культурное наследие, M₁ – литература в культурной географии, M₂ – то же живопись и др.

стало понятие о географической среде, которое ввел Э. Реклю в конце XIX века. Жаркие споры о ее сущности во второй половине XX века, в которых принимали участие С.В. Калесник, В.А. Анучин, Ю.Г. Саушкин, Н.К. Мукистанов, М.М. Голубчик и другие, этой сущности не раскрыли. Поэтому философы вместо этого понятия стали писать о среде «природного окружения общества» или окружающей среде.

Причина неудач заключалась в том, что в сложной географической действительности диалектический метод позволял анализировать только два вида «структур-состояний» – природы и общества. При этом без учета их целостности и с позиций антагонистических подходов. В настоящее время с появлением новой диалектико-триалектической парадигмы М.В. Кузьмина и М. Хайдеггера проблему среды (в том числе и географической) можно рассматривать в контексте глобалистики – единства мира, его целостности и целесообразности (Каширин, 2001). Не умоляя значение диалектики как метода для анализа «структур-состояний», триалектика позволяет изучать еще и функции или «структуры-процессы», т.е. внешние проявления свойств какого-либо объекта (субъекта) в данной системе отношений. Об этом пишут и современные философы: «Отношение субъекта и объекта – это не соотношение двух миров, а лишь полюсов в составе некоторого единства» (Обсуждение..., 2003, с.19). С таких позиций понятие «среда» всегда является отражением субъект-объектных, антропоцентрических или биоцентрических (Охрана..., 1982).

Современная географическая среда в качестве предмета общей географии должна, во-первых, пониматься как эмерджентное свойство глобальной антропо- и биоцентрической систем в пространстве геOVERСУМА. Здесь сложилась сложная модель взаимосвязей, взаимодействий и взаимовлияний подсистемы субъектов (биоты или человека) с природными компонентами, условиями и законами геOVERСУМА. Это свойство отражает напряжение в системе таких взаимоотношений, влияющих на качество жизни субъектов и тенденции изменения этого качества. Во-вторых, географическая среда – это родовое понятие. Оно включает в себя набор видовых понятий сред, свойство которых в зависимости от набора компонентов геОПРОСТРАНСТВЕННОГО СУБСТРАТА, внешних и внутренних факторов, условий и иерархических межсистемных отношений все больше усложняется от среды внешней природы к «месту» нахождения субъекта. Это внешняя среда (геологическая, космическая) – физиосферная (абиотическая) – биосферная – социобиосферная (измененная человеком в пределах биосферы) – современных ландшафтов. В связи с этим в такой модели географической среды отражается философская концепция геОПРОСТРАНСТВА геOVERСУМА, включающая в себя как вертикальную ось «пространство-место жизни», так и горизонтальную ось – «территория-множество мест жизни».

Вертикальная пространственная ось отражает особенности сферного строения современного геOVERСУМА с преобладанием природной составляющей географической среды, где ведущую роль играет географический детер-

минимизм. При движении к поверхности Земли, к месту жизни субъекта компонентная структура географической среды усложнялась и была представлена набором компонентов всех геосфер геOVERСУМА. Менялась и сущность географического детерминизма. Особенно в пределах сферы современных ландшафтов, где формировались новые сферные образования и сложные территориальные системы, связанные с процессами не только обустройства, но и конструирования человеком новых «мест жизни». В этих условиях здесь появляются разные оттенки понятия детерминизма – социальный, экономический, социокультурный, системный, системный с обратной связью и принципом бумеранга (экологический) и даже индетерминизм. Появляются и новые названия типов сред. Это «природная среда измененная человеком» (Исаченко, 2008) или социобиосферная среда части биосферы и сферы современных ландшафтов (Шальнев, 2015).

С другой стороны, «место жизни человека» является также и частью горизонтальной составляющей геопространства, т.е. территории, в пределах которой протекает жизнедеятельность субъекта в зависимости от его пространственно-временных циклов поведения – суточного, недельного, годового и других. Здесь формируется окружающая среда места жизни человека определенного цикла (Шальнев, Федюнина, 2002). Она может быть природной, квазиприродной (частично измененной человеком), культурной, артеприродной (техногенной, моделируемой человеком), семейной и т.д. В словаре Н.Ф. Реймерса (1990) приводится 30 видов названий таких сред.

Выводы

Новая парадигма о геOVERСУМЕ может стать основой создания теоретических положений и методологии общей географии, ведущих категориальных понятий. Основными подходами и концепциями такой географии могут быть:

- пространственный подход и концепция географического пространства, его особенностей;
- эволюционный подход и концепция истории формирования географической действительности и геOVERСУМА как общего объекта географии;
- современная географическая среда с концепцией современного географического детерминизма в парадигме экологического подхода;
- концепция культурогенеза и цивилизационных миров;
- системный подход и учение о геосистемах современной ландшафтной сферы (природных, общественных, парциальных и интегральных) (Исаченко, 2008);
- хронологический подход и концепция нового страноведения (Шальнев, 2015).

И тогда можно будет с гордостью говорить, что география – «решающий фактор, определяющий судьбы народов, как до египетских фараонов, так и после «арабской весны» (Г. Киссенджер). Вот почему без участия географов невозможно разобраться в сложной мозаике тех условий (природных, социальных, культурных, экономических и др.) и особенностей среды жизни геOVERсума, в которых живет современный человек и все человечество. Тем более успешно решать вопросы современной концепции устойчивого развития общества.

Библиографический список

1. Анучин В.А. Основы природопользования: Теоретический аспект. М.: Мысль, 1978.
2. Баранский Н.Н. Экономическая география. Экономическая картография. М.: Географгиз, 1956.
3. Ефремов Ю.К. Ландшафтная сфера нашей планеты // Природа. 1966. №8.
4. Исаченко А.Г. Ландшафтная структура Земли, расселение, природопользование. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2008.
5. Каширин В.И. Россия как страна – цивилизация: глобалистический подход / Сб. Росс. цивилизация на Сев. Кавказе. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2001.
6. Култашев Н.Б. Особенности современного этапа географического познания // Вопросы географии. Сб. 115. М., 1980.
7. Максаковский В.П. Географическая культура. М.: Владос, 1998.
8. Мересте У.И., Ныммик С.Я. Современная география: вопросы теории. М.: Мысль, 1984.
9. Мукитанов Н.К. От Страбона до наших дней. М.: Изд-во «Мысль», 1985.
10. Обсуждение «Новой философской энциклопедии» // Вопросы философии. 2003. №2.
11. Охрана ландшафтов. Толковый словарь / под ред. В.С. Преображенского. М.: Прогресс, 1982.
12. Реймерс Н.Ф. Природопользование. М.: Изд-во Мысль, 1990.
13. Семевский Б.Н. Теоретическая экономгеография. Л.: Изд-во «Наука», 1981.
14. Шальнев В.А. Общая география и учение о геOVERсуме. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2015.
15. Шальнев В.А., Федюнина Д.Ю. Среда географическая и ландшафтная: глобалистский и ландшафтный подходы // Эколого-геогр. вестник юга России. Ростов н/Д.: Изд-во РГУ, 2002. №1.
16. Stamp L.D. Applied Geography. L. 1960.
17. Taulor L. Introduction: the scope of the volume // Geography in twenties century. N. Y., 1953.

References

1. Anuchin V.A. Osnovy prirodopolzovaniya: Teoreticheskij aspekt (Environmental management bases: Theoretical aspect). M.: Izd-vo Mysl, 1978.
2. Baranskiy N.N. Jekonomicheskaja geografija. Jekonomicheskaja kartografija (Economic geography. Economic cartography). M.: Izd-vo Geografiz, 1956.
3. Efremov Yu.K. Landshaftnaja sfera nashej planety (Landscape sphere of our planet) / Priroda, 1966. № 8.
4. Isachenko A.G. Landshaftnaja struktura Zemli, rasselenie, prirodopolzovanie (Landscape structure of Earth, resettlement, environmental management). SPb.: Izd-vo S. Peterburskogo un-ta, 2008.
5. Kashirin V.I. Rossija kak strana – civilizacija: globalisticheskij podhod / Sb. Ross. civilizacija na Sev. Kavkaze (Russia as the country – a civilization: globalist approach / Sb. Ross. a civilization in the North Caucasus). Stavropol: Izd-vo SGU, 2001.
6. Kultashev N.B. Osobennosti sovremennogo jetapa geograficheskogo poznanija / Voprosy geografii (Features of the present stage of geographical knowledge / geography Questions). Sb. 115. M., 1980.
7. Maksakovskiy V. P. Geograficheskaja kultura (Geographical culture). M.: Izd-vo Vldos, 1998.
8. Mereste U.I., Nymmik S.Ja. Modern geography: theory questions (Sovremennaja geografija: voprosy teorii). M.: Izd-vo Mysl, 1984.
9. Mukitanov N.K. Ot Strabona do nashih dnei (From Strabo up to now). M.: Izd-vo Mysl, 1985.
10. Obsuzhdenie «Novoj filosofskoj jenciklopedii» // Voprosy filosofii (Discussion "Nova of the philosophical encyclopedia"//Questions of philosophy), 2003. №2.
11. Ohrana landshaftov. Tolkovyj slovar / Pod red. V.S. Preobrazhenskogo (Discussion "Nova of the philosophical encyclopedia"//Questions of philosophy). M.: Izd-vo Progress, 1982.
12. Rejmers N.F. Prirodopolzovanie (Environmental management). M.: Izd-vo Mysl, 1990.
13. Semevskij B.N. Teoreticheskaja jekonomgeografija (Theoretical economic geography). L.: Izd-vo Nauka, 1981.
14. Shalnev V.A. Obshhaja geografija i uchenie o geoversume (The general geography and the doctrine about a geoversuma). Stavropol: Izd-vo SKFU, 2015.
15. Shalnev V.A., Fedyunina D.Yu. Sreda geograficheskaja i landshaftnaja: globalistskij i landshaftnyj podhody // Jekologo-geogr. vestnik juga Rossii (Sreda geographical and landscape: globalist and landscape approaches // Ekologo-geogr. messenger of the South of Russia). Rostov n/D: Izd-vo RGU, 2002. № 1.
16. Stamp L.D. Applied Geography. L. 1960.
17. Taulor L. Introduction: the scope of the volume // Geography in twenties century. N. Y., 1953.

УДК 003.62+912.64+
004.93+535.39(81) **Эшроков В.М. [Eshrokov V.M.],**
Махмудов Р.К. [Makhmudov R.K.],
Черкасов А.А. [Cherkasov A.A.],
Глущенко И.В. [Gluschenko I.V.]

ГИС-АНАЛИЗ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА-КУРОРТА КИСЛОВОДСКА

GIS-analysis of town-building development of the city-resort Kislovodsk

В статье представлены результаты исследования, посвящённые геоинформационному анализу градостроительного развития городского округа города-курорта Кисловодска, в том числе выявлены существующие проблемы, такие как чередование и смешение жилой и рекреационной застройки, отсутствие единого градо-экологического каркаса, территориальная разобщённость и планировочные разрывы между западной и восточной частями города, отсутствие системы современных общественно-рекреационных пространств, высокая антропогенная нагрузка на сформированные ландшафты, формируемые зоны с повышенной этажностью и др. Выявленные проблемы позволили сформировать ряд предложений по дальнейшему градостроительному развитию города-курорта. В работе подробно описаны особенности использования различных методов исследования, в частности картографического метода, метода дистанционного зондирования земли, метода демографического прогнозирования, аналитического, статистического и другие методы. Особое значение для проведения исследования имеют геоинформационные технологии, применение которых позволило провести комплексный анализ градостроительного развития города-курорта Кисловодска.

The article presents the results of a study devoted to the geoinformation analysis of the urban development of the urban district of the resort city of Kislovodsk, including the identification of existing problems such as alternation and confusion of residential and recreational development, the absence of a single hail-ecological framework, territorial fragmentation and planning gaps between western and eastern parts of the city, the lack of a system of modern public recreational spaces, a high anthropogenic pressure on the formed s landscapes formed from the high-rise area, and others. Issues allowed to form a number of proposals for further urban development of the city-resort. The paper describes in detail the features of the use of various research methods, in particular the cartographic method, the method of remote sensing of the earth, the method of demographic forecasting, analytical, statistical and other methods. Of particular importance for the study are geoinformation technologies, the use of which allowed to conduct a comprehensive analysis of urban development of the resort city of Kislovodsk.

Ключевые слова: ГИС, геоинформационные технологии, градо-экологический каркас, генеральный план, градостроительство, город-курорт Кисловодск.

Key words: GIS, geoinformation technologies, hail-ecological framework, master plan, town-planning, resort city Kislovodsk.

Введение

Городской округ город-курорт Кисловодск расположен на территории Ставропольского края, входит в состав эколого-курортного региона Кавказские Минеральные Воды. Округ состоит из 8 поселков и непосредственно города Кисловодска. Численность населения городского округа на начало 2018 года составляла 136,4 тыс. чел., из них 95% проживают непосредственно в Кисловодске. С 17 января 2006 года Кисловодск является городом-курортом федерального значения. Данный статус, а также перечень приказов Президента и Правительства Российской Федерации направлены на поэтапное формирование на базе города-курорта Кисловодска одного из ведущих курортных центров страны и курорта мирового уровня.

В целом, необходимость комплексного развития муниципального образования городского округа города-курорта Кисловодска определяется поручениями Президента Российской Федерации от 18.04.2015 года № 731 и перечнем мероприятий, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 29 декабря 2016 г. № 2899-р. [1]. Одной из ключевых задач этих поручений является необходимость подготовки предложений по реализации новых перспективных проектов, направленных на развитие города-курорта Кисловодска с учетом использования его санаторно-курортного и туристического потенциала, модернизации гостиничного и санаторного хозяйства, инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры. Решение этой задачи не представляется возможным без проведения комплексного анализа градостроительного развития города-курорта Кисловодска, который позволит выявить существующие проблемы и в последующем выработать предложения по их решению. Для достижения этой цели наиболее эффективной представляется применение геоинформационных технологий, использование которых подразумевает проведение пространственного анализа, инструментарий которых позволяет применять широкий набор методов [4].

Материалы и методы исследований

Нами была создана геоинформационная система, позволяющая вести мониторинг градостроительного развития городского округа города-курорта Кисловодска. Геоинформационные технологии наиболее качественно решают задачи по изучению градостроительного развития городов, содержат инструментарий, позволяющий применять различные методы, осуществлять моделирование и картографирование городских пространств.

Применялся картографический метод объединяющий различные способы изображения пространственной информации. В качестве основных выступили следующие способы: количественного и качественного фона, значков. Так для отображения плотности застройки и плотности населения, этажности городского округа применялся способ количественного фона. Способ качественного фона применялся при зонировании территорий города, в том

числе выделении зоны исторического центра, жилой зоны, курортной зоны и т.д. Способ значков, применяемый для отображения объектов социальной инфраструктуры, санаторно-курортных объектов, объектов культуры и т.д. локализованных в городском округе.

Важное место занимают аэрокосмические (дистанционные) методы, в частности были использованы разновременные космические снимки исследуемой территории с пространственным разрешением от 0,4 до 1,5 м для застроенных территорий и с разрешением от 6 до 15 м для не застроенных территорий. Данный метод с применением пространственно-временного подхода позволил оценить характер, и выявить этапы застройки территории городского округа, а также актуализировать топографическую основу.

Методы и подходы демографического прогнозирования, необходимые для оценки численности населения города применялись при расчёте демографического прогноза, который имеет чрезвычайно большое значение для целей планирования развития территории на различные временные периоды, позволил дать оценку основных параметров развития населения на основе выбранных гипотез изменения уровней рождаемости, смертности и миграционных потоков, и ряда иных факторов, таких как половозрастная структура населения. Так были предложены три сценария демографического прогноза: оптимистический, базовый и пессимистический.

Применение статистического метода позволило произвести расчет плотности населения на внутригородскую территорию городского округа. При отсутствии статистических данных о численности населения Кисловодского городского округа на уровне микрорайонов и жилых кварталов, а также данных о численности единовременно отдыхающих в санаториях, нами были использованы данные избирательных комиссий и на карте отражены границы избирательных округов. В результате расчета были поставлены под сомнения официальные данные Росстата по численности населения городского округа. В городе-курорте Кисловодске с официальной численностью населения в 136,5 тыс. человек, зарегистрировано всего 73,3 тыс. избирателей (53% населения). Очевидно, что половиной населения города не могут быть люди младше 18 лет. Численность населения, составленная по данным о количестве избирателей, на основании половозрастной структуры населения города показала завышение данных Росстата примерно на 30%. Так как точной численности единовременно отдыхающих в городе-курорте нет, была рассчитана численность единовременно отдыхающих в санаторно-курортных учреждениях из числа общей годовой численности отдыхающих, разделенная на число дней среднего курса пребывания в санаториях (21 день). Таким образом, нами был произведен расчет и построена модель по плотности населения на территорию городского округа (Рисунок 2).

Аналитический метод применялся при анализе генеральных планов Кисловодска прошлых лет, а именно разработанные в 1968, 1989, 1994 и 2011

гг. Российским институтом градостроительства и инвестиционного развития «Гипрогор». Проведен анализ документов территориального планирования – схема территориального планирования Ставропольского края и Кавказских Минеральных Вод, правила землепользования и застройки города-курорта Кисловодска. Также был изучен опыт курортных городов Карловы Вары (Чехия) и Баден-Баден (Германия) в части градостроительного развития и организации городских пространств.

При проработке вариантов решения задач по перспективам градостроительного развития города-курорта Кисловодска были использованы архитектурно-планировочные принципы, заключающиеся в соподчинённости, комплексности, стадийности и актуальности [4].

Результаты исследований и их обсуждение

Проблемы, выявленные в ходе проведения ГИС-анализа. Проведённый геоинформационный анализ градостроительного развития города-курорта Кисловодска выявил ряд проблем, характерных в целом для городов Кавказских Минеральных Вод.

1. Наиболее очевидной является проблема смешение и чередование жилой и рекреационной застройки. Например, в пределах курортной зоны размером 400 га (за исключением национального парка Кисловодский), более 83 га занимает жилая (преимущественно застроенная в последние 10–15 лет), общественно-деловая и иные зоны (Рисунок 1). Установлено, что в пределах 1-й зоны горно-санитарной охраны города-курорта находится около 53 га жилой застройки. Кроме этого, 2 поселка – Индустрия и Нарзанный и 4 промышленных предприятия (АО «Нарзан», ЗАО «Кисловодский Фарфор – Феникс», ООО «Кисловодское ПП «Универсал», ЗАО СПЗ «Форелевый»), находятся во 2-й зоне горно-санитарной охраны курорта.
2. Отсутствие единого градо-экологического каркаса и системы общественных пространств приводит к смешению различных потоков: жителей, курортников, туристов, спортсменов, и их концентрации в одних и тех же зонах, и центрах, как правило, в курортной части города.
3. Территориальная разобщенность и планировочные разрывы между западной и восточной частями города. Очевидным является отсутствие система современных общественно-рекреационных пространств, способных систематизировать потоки отдыхающих и местных жителей.
4. Значимой проблемой для городского округа является высокая антропогенная нагрузка на сформированные ландшафт-

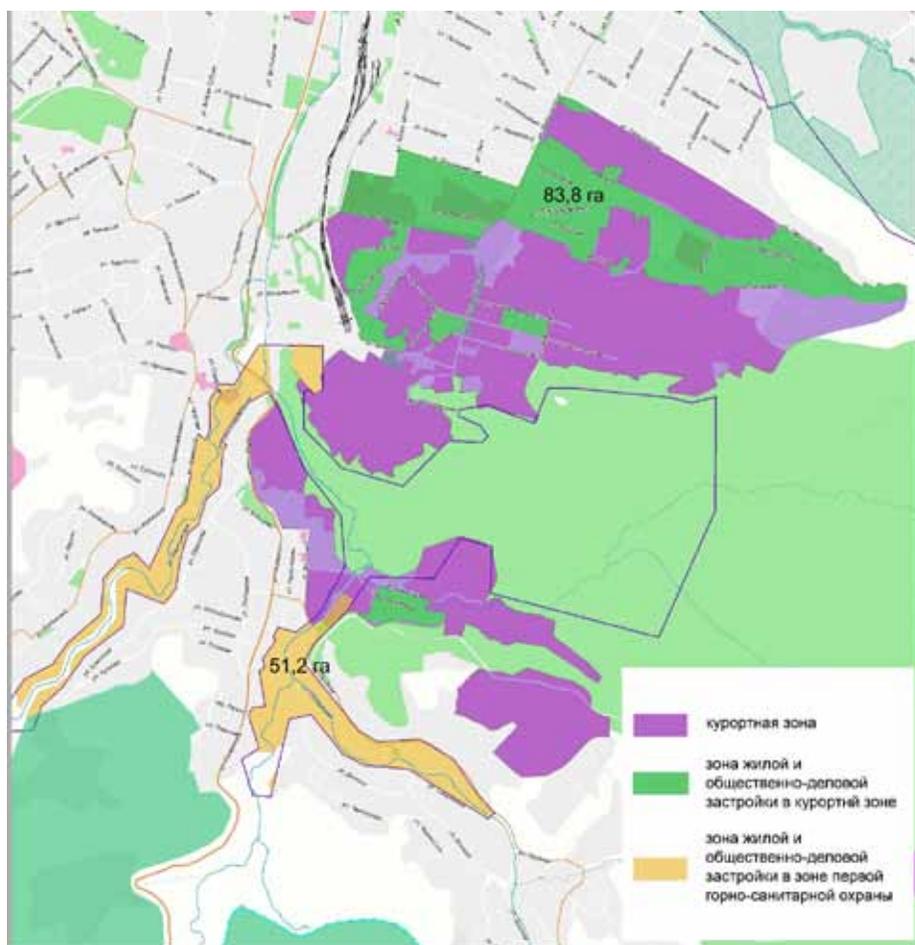


Рис. 1. Зоны возможного переселения из первой зоны горно-санитарной охраны и курортной зоны.

ты, что приводит к росту общего числа выбросов в окружающую среду.

5. Определённой проблемой является формирование зоны с повышенной этажностью, что не соответствует курортному облику Кисловодска.

Набор обозначенных проблем требует систематизации и предложений способных разрешить сложившуюся ситуацию в перспективе.

Предложения по решению выявленных проблем. Важнейшей задачей для развития городского округа Кисловодска является стабилизация численности населения на уровне 135 тыс. человек. При расчете демографического прогноза нами был выбран базовый вариант прогноза, предусматривающий стабилизацию показателя. Такая динамика численности населения, как показывает международная практика, для городов-курортов вполне допустима, в том числе и для города-курорта Кисловодска. Стабилизация численности населения также подразумевает стабилизацию и последовательное снижение плотности населения Кисловодского городского округа (рис. 2).

Результаты демографического прогноза учтены при определении различных направлений социально-экономического развития городского округа. В частности, при формировании предложений развития жилищного строительства, планировании развития учреждений социальной сферы. Так обеспеченность жильем на одного человека в Кисловодском городском округе остается самой низкой из всех городских округов Ставропольского края – 20,7 м²/чел., что также ниже среднего показателя обеспеченности жильем по краю 23,7 м²/чел. [2]. В соответствии с целями стратегического развития Ставропольского края этот показатель к 2025 году должен достигнуть 35 кв. м/чел. Таким образом стабилизация численности населения позволит упростить задачу по достижению необходимых показателей.

Следующее предложение связано с расширением границы городского округа за счет земель Предгорного района: с востока на 2–3 км восточнее, с юга на 1–2 км – по границе с Кабардино-Балкарской республикой, с запада на 1–2 км – по границе с республикой Карачаево-Черкессия. Вследствие этого в состав городского округа войдут 3 населенных пункта: поселки Правоберёзовский, Левоберёзовский и Высокогорный. Присоединяемые земли предлагается использовать, как своеобразный экологический буфер и не более 5% их территории должны быть спланированы под хозяйственную деятельность – строительство рекреационных объектов. Увеличение площади муниципального образования будет способствовать сохранению буферных земель свободных от техногенной нагрузки, а, следовательно, и от загрязнения, вокруг города-курорта Кисловодска. В настоящее время данный вопрос прорабатывается Правительством Ставропольского края.

В настоящее время в планировочной структуре города-курорта выделяется 8 планировочных районов. В связи с тем, что предполагается расширение площади городского округа, на территориях нового освоения необходимо выделить еще как минимум 6 планировочных районов. Данный подход позволит в дальнейшем более эффективно и рационально управлять градостроительством в городском округе, обеспечить более детальную проработку территорий на уровне планировочных районов, а также обеспечить сохранение природного потенциала территории.

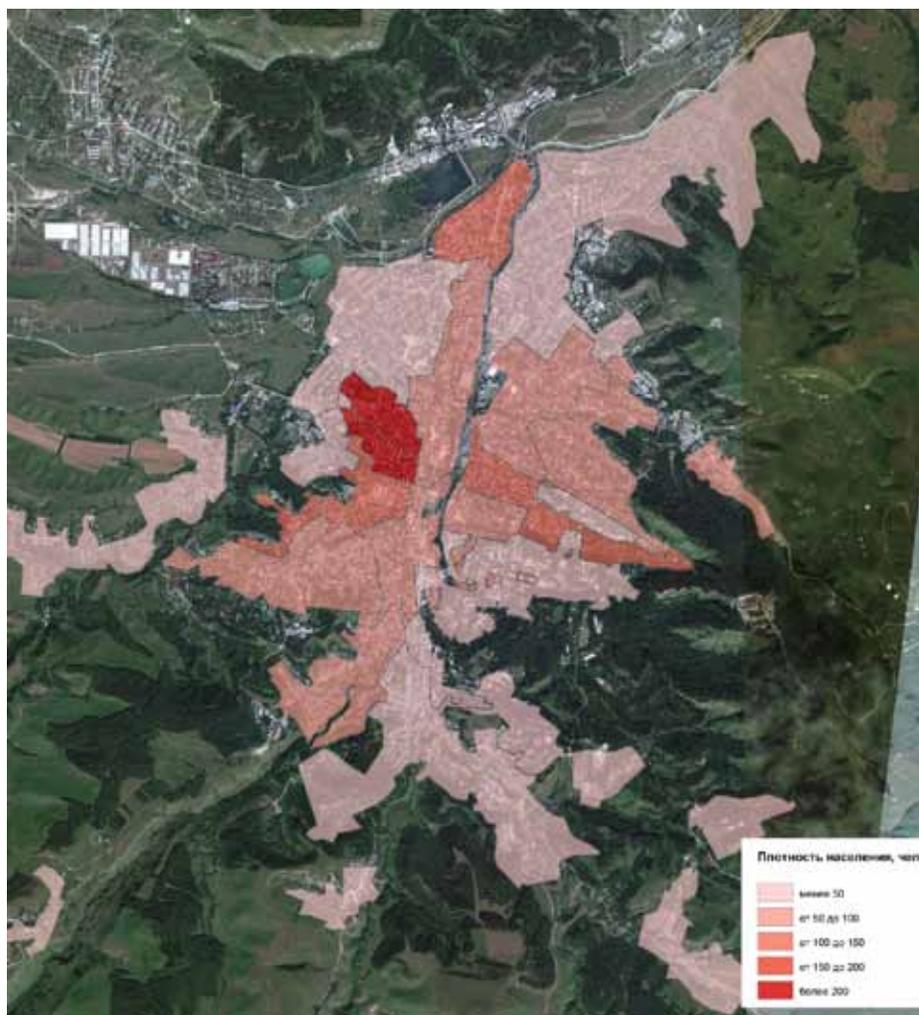


Рис. 2. Плотность населения города-курорта Кисловодска по избирательным округам.

Важно отметить, что единственная территория города, пригодная для расширения под жилую застройку, находится на северо-западе, севернее поселка Аlikоновка. На основании проектных решений, нами предлагается создание в этой части жилого района со смешанными жилыми и общественно-деловыми функциями, квартальной застройкой и возможностью совмещения различных функций внутри одного квартала. Большая часть жилого района рассчитана под размещение малоэтажной жилой застройки многоквартирного и блокированного типа, южная часть, под индивидуальную жилую застройку, центральная – под среднеэтажную.

В рамках исследования проанализированы масштабы возможного переселения населения из границ зоны первой горно-санитарной охраны источников минеральных вод. Численность проживающих в этой зоне составляет 2 300 чел. Переселение преимущественно должно осуществляться в районы нового освоения. Данный подход позволит уменьшить антропогенную нагрузку охранной территории, разгрузить курортную зону.

На основании данного анализа предлагается не допускать высотного строительства в округе. Уплотнение застройки возможно за счет локальных участков с меньшими параметрами, чем приняты в настоящих документах. Для этого параметры функциональных зон в границах современного города были рассчитаны на основе максимальной этажности существующей застройки. Обеспеченность новым жильем должна быть увеличена, как было сказано ранее, за счет присоединяемых территорий. Ограничение этажности позволит сохранить исторический облик города-курорта, а также будет влиять на стабилизацию плотности населения городского округа.

В современной планировке города важное место должно отводиться общественно-рекреационным пространствам. В настоящее время площадь таких территорий 328,2 га, под проектируемые предлагается увеличить до 1815,3 га. Указанные площади приведены без учета территории Национального парка «Кисловодский». Геоинформационный анализ позволил учесть ряд факторов (плотности населения, истории освоения города и др.) создать 1 и реконструировать 5 общественных пространств окружного (общегородского) значения (рис. 3):

- «Национальный парк «Кисловодский» – основное пространство для пользователей санаторно-курортных услуг;
- «Новое озеро» – с комплексом специализированных рекреационных сооружений и спортивных объектов в его восточной части;
- «Курортный бульвар» – общественное пространство общего пользования широкой специализации, предназначенное для всех категорий населения;
- «Старое озеро» – формируется в рамках существующего городского парка культуры и отдыха, и территории Старого озера, ориентировано на широкий спектр потребителей с четким внутренним делением на функциональные зоны: спортивную, массовых мероприятий, рекреационную, зону тихого отдыха, детскую;
- Пешеходная зона «Променад» (набережная просп. Победы) с «карманными» парками и парклетами;
- Зона общественно-деловых функций – «Россия».

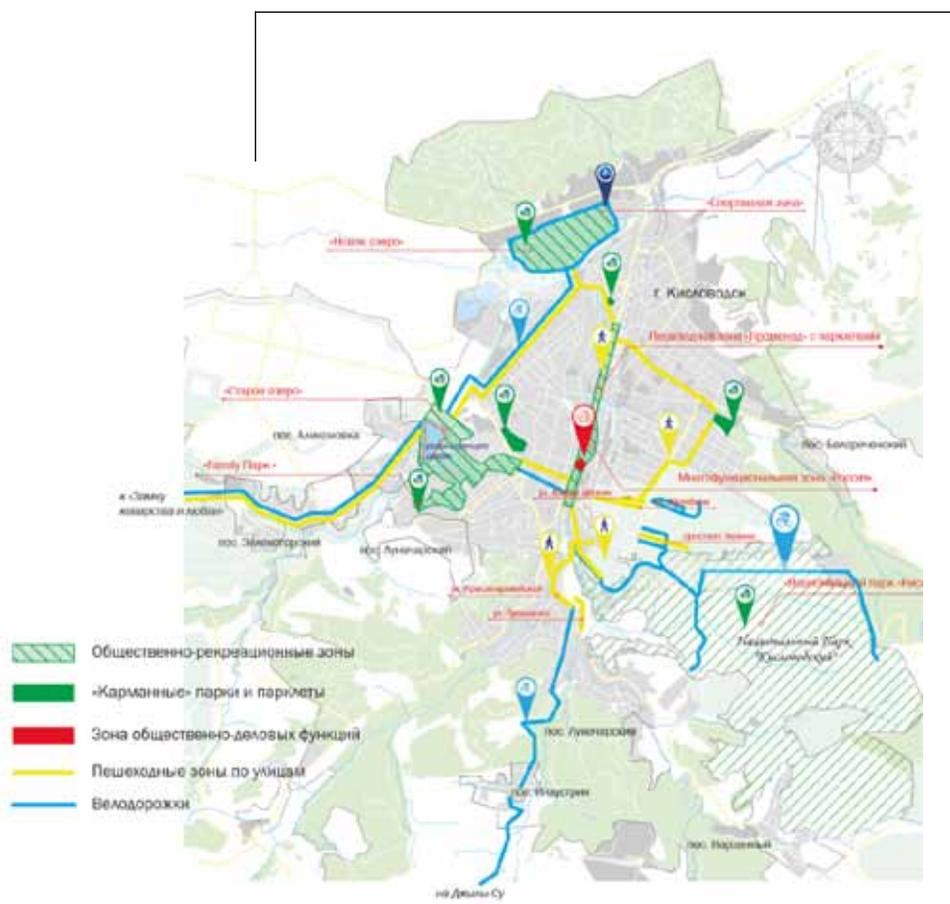


Рис. 3. Создание системы общественных пространств города-курорта Кисловодска.

Создание нового типа городского пространства с комфортными условиями проживания населения, полноценным градо-экологическим каркасом связано с новым значением существующих и формированием системы новых общественных пространств.

Особое место в развитии городского округа занимает природный потенциал территории, в сочетании с большим культурным наследием. Сохранение его уникальных характеристик, должно быть неотъемлемой задачей органов местного самоуправления [3]. К числу мероприятий по конструированию полноценного градо-экологического каркаса городского округа города-курорта Кисловодска можно отнести следующие направления деятельности:

- сохранение существующих территорий природного каркаса и его развитие за счет воссоздания природных сообществ и нового озеленения резервных территорий;

- сохранение и восстановление территориальной связи природного каркаса с антропогенными ландшафтами округа;
- формирование системы особо охраняемых природных территорий разных правовых категорий и статуса регионального и местного значения;
- формирование системы рекреационных зон (центров) городского и окружного значения;
- развитие градо-экологического каркаса при реорганизации промышленно-коммунальных зон за счет реабилитации и создания новых объектов озеленения;
- закрепление приоритета экологических (средозащитных, средоформирующих, оздоровительных, природоохранных) функций территорий градо-экологического каркаса при всех видах их использования;
- установление границ территорий градо-экологического каркаса и их закрепление в градостроительной документации линиями градостроительного регулирования;
- установление для территорий градо-экологического каркаса особых режимов использования, в том числе, градостроительной деятельности, создание нормативных правовых документов, регламентирующих охрану и использование таких территорий, а также градостроительную деятельность на них.

В результате анализа было предусмотрено увеличение площади городских зеленых насаждений общего пользования – парки отдыха, скверы, бульвары до 350 га. В центральной части города площадками под увеличение количества зеленых насаждений послужат земельные участки под ветхим и аварийным жильем, из которого активно расселяется. Это составит норму обеспеченности зелеными насаждениями 23,3 м²/чел., что в большей мере соответствует потребностям города-курорта.

Кроме этого, предлагается создание в юго-западной части городского округа (на границе с Карачаево-Черкесской Республикой) зоны совместных интересов («Территории партнерства») в развитии общественного пространства в районе дороги «Кисловодск – Джилы-Су» и проектируемых объектов спортивной, рекреационной и туристической инфраструктуры.

Выводы

В ходе проведения геоинформационного анализа градостроительного развития города-курорта Кисловодска были выделены следующие ключевые проблемы:

- чередование и смешение жилой и рекреационной застройки;
- отсутствие единого градо-экологического каркаса и системы общественных пространств;
- территориальная разобщенность и планировочные разрывы между западной и восточной частями города;
- высокая антропогенная нагрузка на сформированные ландшафты;
- отсутствие системы современных общественно-рекреационных пространств;
- формирование зон с повышенной этажностью.

Предложены следующие варианты решения проблем:

- стабилизация численности населения и расширения площади городского округа позволит сформировать буферные зоны, свободные от техногенной нагрузки и уменьшить плотность населения в отдельных районах городского округа;
- поэтапное переселение жителей из границ зоны первой горно-санитарной охраны источников минеральных вод численностью 2 300 чел., которое позволит упорядочить застройку внутри города, а также снизить антропогенную нагрузку на территориях формирования минеральных источников воды;
- предлагается создание (реконструкция) 6 общественных пространств окружного (общегородского) значения, которые в перспективе позволят упорядочить потоки местных жителей и отдыхающих, разгрузить Кисловодский курортный парк, сформировать благоприятный облик города-курорта, повысить качество жизни местного населения;
- ограничение высотного строительства и уплотнения существующей застройки позволит сохранить облик города-курорта, а также снизить антропогенную нагрузку, и нагрузку на коммунальную и социальную инфраструктуру города.

Созданная геоинформационная система для анализа градостроительного развития города-курорта Кисловодска позволяет производить мониторинг реализации предложений, связанных с развитием городского округа города-курорта Кисловодска, и поэтапно реализовывать генеральный план города. Данные предложения включены в генеральный план города-курорта Кисловодска.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства РФ от 29.12.2016 № 2899-р «Об утверждении перечня мероприятий по комплексному развитию города-курорта Кисловодска до 2030 года» [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-плюс». <http://www.consultant.ru>.
2. Жилищно-коммунальное хозяйство в Ставропольском крае. Статистический сборник / территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Ставропольскому краю. 2016 г. [Электронный ресурс]. Федеральная служба государственной статистики. <http://stavstat.gks.ru/>.
3. Перцик Е.Н. Районная планировка (территориальное планирование). М.: Гардарики, 2006. 398 с.
4. Панин А.Н., Черкасов А.А., Приходько Р.А., Махмудов Р.К., Глушченко И.В. Картографо-геоинформационное обеспечение пространственного планирования в Российской Федерации. Материалы Международной конференции «ИнтерКарто/ИнтерГИС». 2017; 2(23):193–199. DOI:10.24057/2414–9179–2017–2–23–193–1992.
5. Сосновский В.А., Русакова Н.С. Прикладные методы градостроительных исследований. М.: Архитектура-С, 2006. 112.

References

1. Rasporiyazhenie Pravitel'stva RF ot 29.12.2016 № 2899-r «Ob utverzhdenii perechnya meropriyatij po kompleksnomu razvitiyu goroda-kurorta Kislovodska do 2030 goda» (Order of the Government of the Russian Federation of December 29, 2016 No. 2899-r «On approval of the list of measures for the integrated development of the resort city of Kislovodsk until 2030») [Elektronnyj resurs]. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant-plyus» <http://www.consultant.ru>
2. Zhilishchno-kommunal'noe hozyajstvo v Stavropol'skom krae. Statisticheskij sbornik (Housing and communal services in the Stavropol Territory) / territorial'nyj organ federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Stavropol'skomu krayu. S. – 2016 g. [Elektronnyj resurs]. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. <http://stavstat.gks.ru/>
3. Percik E.N. Rajonnaya planirovka (territorial'noe planirovanie) (Regional planning (spatial planning), Moscow: Gardariki, 2006, 398 p.
4. Panin A.N., Cherkasov A.A., Prikhodko R.A., Mahmudov R.K., Glushchenko I.V. Kartografo-geoinformacionnoe obespechenie prostranstvennogo planirovaniya v Rossijskoj Federacii (Mapping and geoinformation support of spatial planning in the Russian Federation). InterCarto/InterGIS. 2017; 2 (23): 193–199. DOI:10.24057/2414–9179–2017–2–23–193–1992.
5. Sosnovskij V.A., Rusakova N.S. Prikladnye metody gradostroitel'nyh issledovanij (Methods for applied urban research). Moscow: Arhitektura-S, 2006, 112 p.

УДК 553.98:550.3

**Ярошенко А.А. [Yaroshenko A.A.],
Папоротная А.А. [Paporotnaya A.A.],
Савина Ю. А. [Savina Yu. A.],
Скрипнюк О. В. [Skripnyuk O.V.]****ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ
НЕФТЕГАЗМАТЕРИНСКИХ СВОЙСТВ
ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРСКО-
КАСПИЙСКОГО ПЕРЕДОВОГО ПРОГИБА****Assessment main of the oil and gas source
properties of the jurassic rocks
of the tersko-caspian foredeep**

Проведено изучение органического вещества (ОВ) пород отложений Терско-Каспийского передового прогиба (ТКПП) на основе люминесцентного и химико-битуминологического анализов. Повышенное содержание и геохимические особенности рассеянного органического вещества (РОВ) среднеюрского терригенного комплекса в пределах изучаемой территории позволяют отнести эти отложения к нефтегазоматеринским. По данным элементного состава хлороформных компонентов ОВ с использованием диаграммы Ван-Кревелена выделены два генетических типа ОВ – сапропелевый и гумусово-сапропелевый. Особенности литологического состава пород верхней юры, невысокое содержание в них РОВ, связанные с условиями осадконакопления, не позволяют рассматривать эти отложения в качестве нефтематеринского комплекса в разрезе юрских отложений. Проведенные исследования пород юрского комплекса позволяют предполагать возможность открытия новых скоплений нефти и газа при наличии пород-коллекторов и ловушек для залежей УВ. С целью поисков пород-коллекторов и локальных поднятий необходимо проведение детализационных сейсмических исследований, сейсмогеологического моделирования и формирования детальной объемной модели геологической среды на основе глубинных сейсмических разрезов 2D и данных каротажа скважин.

The study of the organic matter (OM) of rocks of the deposits of the Tersko-Caspian foredeep (TCF) on the basis of luminescent and chemical-bituminous analyzes was carried out. The increased content and geochemical characteristics of the dispersed organic matter (DOM) of the Middle Jurassic terrigenous complex within the studied territory make it possible to classify these deposits as oil and gas source rocks. According to the elemental composition of the chloroform components of OM using the Van Crevelen diagram, two genetic types of OM are identified: sapropelic and humus-sapropelic. The features of the lithological composition of the Upper Jurassic rocks, the low content of DOM associated with sedimentation conditions, do not allow considering these deposits as a petroleum complex in the context of Jurassic deposits. The conducted of the Jurassic complex rocks allow to assume the possibility of discovery of new accumulations of oil and gas in the presence of resources – reservoirs and traps for HC deposits. In order to search for reservoir scientists and local uplifts, it is necessary to carry out analytical studies, seismo-geological modeling and the formation of a detailed volumetric model of the geological environment based on deep seismic 2D cuts and well log data.

Ключевые слова: органическое вещество, отложения, нефтегазоматеринские свойства, сейсмические исследования.

Key words: organic matter, sediments, oil and gas source properties, seismic research.

Введение

Восточное Предкавказье относится к регионам достаточно хорошо и всесторонне изученным. Однако данное обстоятельство не исключает повышенного интереса к отдельным участкам и геологическим объектам на этой обширной территории, что особенно актуально в условиях постепенного истощения ресурсов углеводородов (УВ). В этой связи особое значение приобретает диагностика нефтегазоматеринских пород (НГМП) в юрских отложениях ТКПП, способных в определенных термобарических условиях генерировать жидкие и газообразные УВ.

Материалы и методы исследований

Для изучения геохимической характеристики ОВ в работе использованы результаты химико-битуминологических исследований, проведенных в разные годы в СевКавНИПИнефти, ВНИГНИ, ИГиРГИ, ДагФАН СССР, МГУ, ГНИ, СевКавНИПИгазе и др.

Результаты исследований и их обсуждение

В палеобассейне, который располагался в раннеюрское время на территории современного ТКПП [1], существовал режим морской трансгрессии.

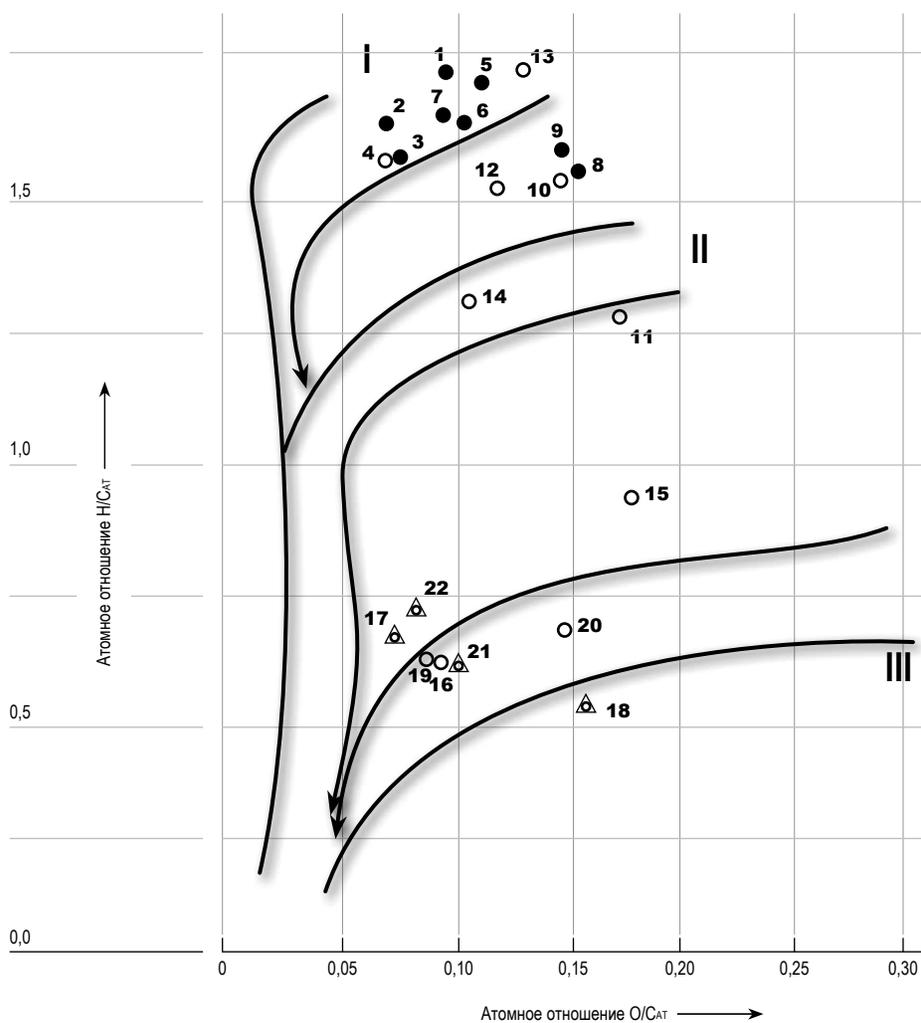
Осадки накапливались в основном на южном борту и в осевой части прогиба – в пределах современной Терско-Сунженской зоны дислокаций. На северном платформенном борту прогиба осадконакопление в раннеюрское время не происходило.

Гумидный климат, глубоководные и умеренно-глубоководные условия осадконакопления, как восстановительная, так и слабо окислительная обстановка в бассейне, способствовали формированию значительной толщи песчано-глинистых пород, содержащей РОВ разных генетических типов (рис. 1).

В аргиллитовых прослоях терригенных отложений тоарского яруса в северной части предгорий (р. Баксан) содержание органического углерода (Сорг) колеблется в пределах 0,03–0,9%, составляя в среднем 0,3% [2]. Отмечено существенное увеличение содержания ОВ (Сорг = 5%) лишь в одном образце аргиллита, отобранного непосредственно под угольным пропластком. В породах выявлено также очень низкое содержание хлороформенных битумоидов (ХБ), в среднем 0,003%.

В глинистых и песчано-алевритовых отложениях плинсбахского и тоарского возраста горной части Дагестана содержание Сорг изменяется в пределах от 1,3 до 2,5%. В углистых сланцах оно достигает 30 и даже 38%.

Содержание ХБ в разных литологических типах пород составляет 0,0001–0,008%. При этом в породах присутствуют следы миграции легкоподвижных битумоидных компонентов, а степень эпигенетической битуминоз-



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Отложения

△ – нижнеюрские

● – среднеюрские

○ – верхнеюрские

I, II, III – поля распространения керогенов 1, 2 и 3 типов

Место отбора образцов пород/точка на графике

пл. Заюковская 1, 2, 3, 5, 6, 7

пл. Элистанжи 4, 12, 13, 14

пл. Церик-Гель 9, 10, 11

пл. Баксановская 8

пл. Мугри 15, 16, 17, 18

пл. Балхас-Хунук 19

пл. Селли 20

пл. Дузлук 21, 22

Рис 1.

Типы керогенов в юрских отложениях ТКПП на диаграмме Ван-Кревелена.

ности превышает сингенетичную в глинах в 1,5–5 раз, в песчаниках и алевролитах в 10 раз.

Проведенный анализ имеющегося материала показал, однако, что нефтегазоматеринские свойства нижнеюрских отложений в пределах всей толщи ТКПП изучены недостаточно. При этом полностью отсутствуют сведения о геохимической характеристике РОВ аргиллитов плинсбаха.

В среднеюрское время на территории ТКПП существовал режим осадконакопления близкий к раннеюрскому.

Анализ имеющихся данных показал, что содержание РОВ в отложениях средней юры находится в основном на уровне кларковых, а иногда значительно превышает его. Повышенным содержанием выделяются глинистые породы, в которых ОБ рассеяно в количестве 1,0–2,0%. В пределах всей изученной территории в разрезе средней юры доминируют аргиллиты с таким содержанием РОВ (70% от числа наблюдений). В других литологических разновидностях пород ОБ рассеяно в меньшем количестве. Его содержание колеблется в алевролитах от 0,30 до 1,10%, в песчаниках от 0,08 до 0,30% (рис. 2).

Благоприятные субаквальные условия захоронения ОБ, и восстановительная обстановка среды в диагенезе обеспечили обогащенность им среднеюрских пород. В глинистых осадках накапливалось ОБ преимущественно смешанного типа (см. рис. 1). При этом гумусовая составляющая преобладала в частях бассейна, близких к источнику сноса осадков (Предгорный Дагестан, междуречье р.р. Чегем – Баксан).

В глинистых отложениях байос-батского возраста, формировавшихся в условиях восстановительной обстановки осадконакопления, на территории Дагестанского клина и Южно-Дагестанской зоны дислокаций отмечается повышенное содержание Сорг, которое составляет 1,2–3,0 %. РОВ характеризуется повышенной сингенетичной битуминозностью. Содержание ХБ варьирует в пределах 0,05 – 0,09 %, составляя в среднем 0,087 %. Спирто-бензольных битумоидов (СББ) содержится в среднем 0,065 % [3].

В песчаниках и алевролитах содержание Сорг значительно снижается до 0,05–0,1%. Падает также и концентрация в породах ХБ – 0,002–0,045%.

По данным изучения керогена из аргиллитов ааленского и байос-батского комплекса пород в пределах рассматриваемой территории элементный состав нерастворимой части ОБ характеризуется низким содержанием водорода ($H = 4,2–4,9\%$). Для наименее преобразованного керогена средней юры (скв. 1 на площади Мугри) он может достигать 5,8%. Содержание углерода составляет 80,9–84,8%, а кислорода – 10,6–14,5%.

По соотношению компонентов элементного состава керогена на диаграмме Ван-Кревелена установлен преимущественно сапропелево-гумусовый тип ОБ, в котором основную роль играет витринитовая составляющая в центральной и западной частях прогиба и гумусовая – в Предгорном Дагестане (см. рис. 1).

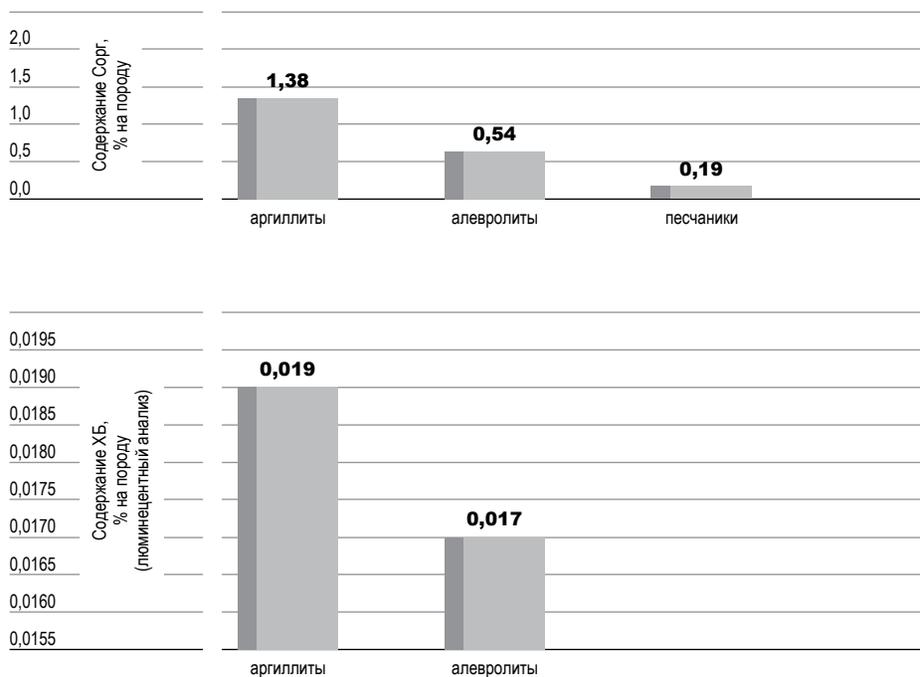


Рис. 2. Гистограммы распределения среднего содержания Сорг и ХБ (люминесцентный анализ, сингенетичные битумоиды) в породах средней юры (J2a+b) ТКПП.

Гумусовый тип ОВ с преимущественно инертинитовой составляющей указывает на близость мелководных участков юрского бассейна к источникам сноса в период осадконакопления.

В пределах территории, ограниченной на западе р. Малка, а на востоке р. Андийское Койсу, были выделены, исходя из палеоструктурных условий, три зоны осадконакопления – западная, охватывающая платформенный склон палеопрогиба, центральная, включающая осевую часть прогиба и совпадающая с современной Терско-Сунженской зоной дислокаций, и восточная, охватывающая большую часть крупной Чеченской (Аргунской) впадины.

По данным люминесцентного анализа РОВ образцов пород, отобранных из скважин структурного и глубокого бурения, а также из отложений по разрезам рек на южном борту ТКПП [4], установлено, что содержание ХБ, в отложениях среднеюрского терригенного комплекса распределено весьма неравномерно. Так, в толще песчано-алевролитовых пород аалена и байоса преобладает содержание ХБ менее 0,05% (60% от количества определений). В аргиллитах содержание ХБ заметно возрастает.

Детальная обработка фактического материала, полученного в результате проведения люминесцентного и химико-битуминологического анализов, позволила выявить три основные категории битумоидов, рассеянных в толще пород среднеюрского возраста, – остаточные сингенетичные, смешанные и эпигенетичные.

Использование результатов изучения выявленного соотношения между содержанием в юрских отложениях ОВ и ХБ (люминесцентный анализ) дало основание отнести к сингенетичным ХБ, рассеянные в породе в количестве, не превышающем 0,04%. Соответственно, ХБ, содержание которых в отложениях средней юры превышает 0,04%, следует относить к смешанным или эпигенетичным.

Выявленный количественный признак сингенетичности ХБ подтверждается также данными группового состава ОВ (химико-битуминологический анализ). Для сингенетичных ХБ, содержащихся в среднеюрских породах, характерны следующие средние значения показателей:

- коэффициент окисленности (СББ/ХБ) = 2,4 для западной зоны, СББ/ХБ = 1,35 для восточной зоны;
- битумоидный коэффициент ($\beta\text{ХБ} = \text{ХБ} \cdot 100/\text{Сорг}$) = 3,1 % для западной зоны, $\beta\text{ХБ} = 2,6$ % для восточной зоны;
- содержание ХБ = 0,04%.

Наибольший интерес при изучении нефтегазоматеринских свойств пород представляют сингенетичные битумоиды, являющиеся составной частью РОВ, образование которого происходило синхронно с вмещающими его породами. Эти битумоиды служат источником для образования других битумоидов и самой нефти.

Содержание остаточных сингенетичных ХБ в породах среднеюрского комплекса колеблется от 0,005% до 0,025% по данным люминесцентного анализа (см. рис. 2) и от 0,006% до 0,04% по материалам горячей экстракции (рис. 3). Частота встречаемости остаточных сингенетичных ХБ в породах составляет соответственно 42% от общего количества определений. Наиболее распространены в отложениях среднеюрского комплекса смешанные и эпигенетичные ХБ, составляя соответственно 58% от общего количества определений. Эпигенетичные ХБ встречаются в основном в песчано-алевролитовых породах. В аргиллитах чаще всего содержатся смешанные ХБ.

Относительная обогащенность среднеюрских отложений смешанными и эпигенетичными ХБ свидетельствует об интенсивной эмиграции нейтральных компонентов битумоидных веществ. При этом процесс эмиграции протекал как в восточной, так и в западной зонах осадконакопления.

Изучение результатов химико-битуминологического анализа ОВ показало наличие определенной связи между групповым составом ОВ и литологическим типом, вмещающих его пород средней юры. В частности, установ-

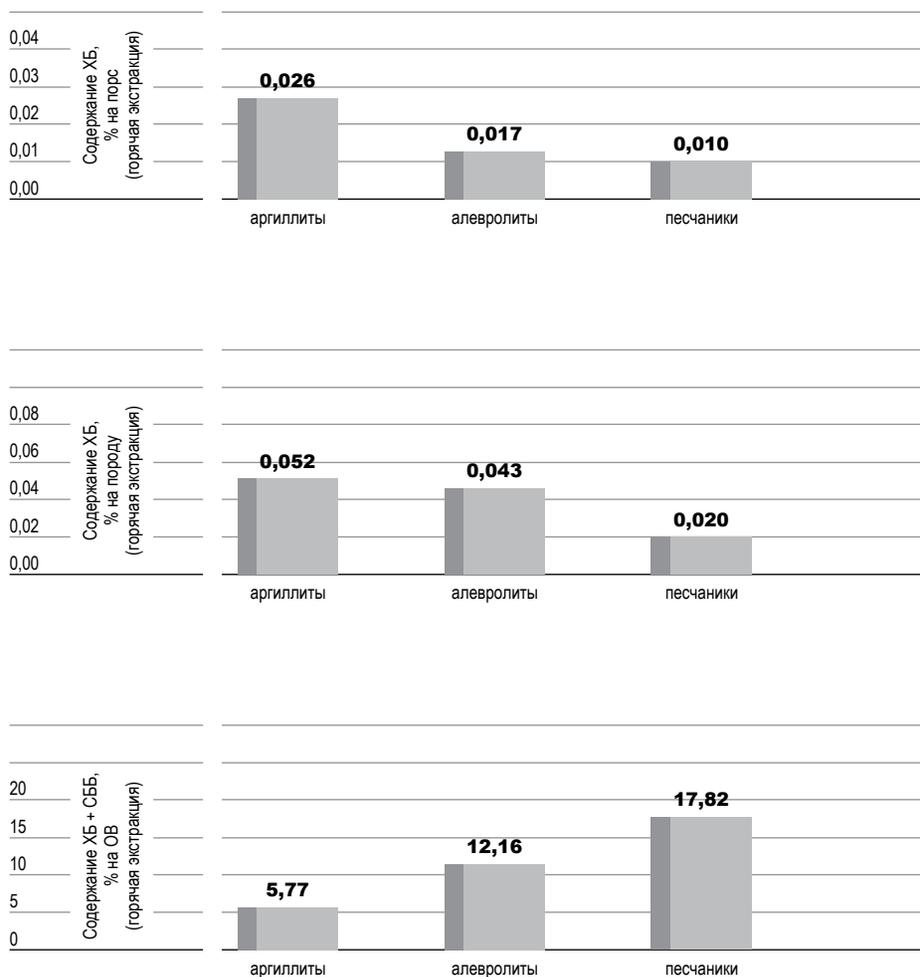


Рис. 3.

Гистограммы распределения среднего содержания ХБ, СББ и ХБ+СББ в групповом составе ОВ (горячая экстракция, сингенетичные битумоиды) среднеюрских отложений (J2a+b) ТКПП

лено повышенное содержание битумоидных компонентов (ХБ + СББ) в песчаниках и алевролитах при сравнительно низком их содержании в аргиллитах.

Отмечаются также некоторые различия в составе ОВ для отдельных частей исследуемой территории ТКПП. В восточной части прогиба ОВ харак-

теризуется более высокой степенью превращенности. Сумма битумоидных компонентов составляет здесь в аргиллитах 5,8–7,2%, а в песчаниках 26,5%. В западной части прогиба сумма битумоидных компонентов варьирует в следующих пределах: аргиллиты 5,6–5,7%, алевролиты 9,1–13,7%; песчаники 10,4–17,2%.

Во всех литологических разностях пород среди битумоидных компонентов ОВ преобладают СББ (СББ/ХБ = 1,3 – 3,0). При этом наблюдается рост значений СББ/ХБ с увеличением глубины погружения вмещающих отложений, что является, по-видимому, результатом усиления эмиграции нейтральных компонентов битумоидных веществ под воздействием факторов метаморфизма.

Изучение компонентного состава сингенетичных остаточных ХБ из отложений средней юры показало, что они характеризуются пониженным содержанием масел (14,5–32,1%) и асфальтенов (12,0–20,77%). Обеднение сингенетичных ХБ маслами указывает на потерю их в процессе первичной миграции. Пониженное содержание асфальтенов в групповом составе сингенетичных ХБ в центральной и западной зонах обусловлено, по-видимому, существенным влиянием сапропелевой составляющей в составе исходного ОВ и, частично, их преобразованием в смолистые вещества при нарастающем влиянии факторов метаморфизма.

Данные элементного состава хлороформенных компонентов ОВ с использованием диаграммы Ван-Кревелена (см. рис. 1) позволило установить, что в среднеюрском осадочном бассейне, в пределах изучаемой территории ТКПП, накапливалось ОВ двух генетических типов – сапропелевое и гумусово-сапропелевое.

При этом преимущественно сапропелевый тип ОВ получил широкое распространение в западной и центральной частях ТКПП, а гумусово-сапропелевый тип ОВ доминирует в его восточной части, что обусловлено особенностями осадконакопления в среднеюрское время.

Следует отметить, что элементный состав сингенетичных ХБ в общем обеднен углеродом (72,1–80,8 %, среднее 76,6 %) и водородом (7,5–10,7%, среднее 9,4 %), но обогащен гетероэлементами (10,0–17,9 %, среднее 14,0 %).

Эпигенетичные и смешанные ХБ отличаются от сингенетичных ХБ как по компонентному, так и по элементному составу. Так, в частности, они характеризуются пониженным содержанием гетероэлементов (5,4–8,1 %), но более высоким содержанием углерода (80,8–82,0 %) и водорода (10,4–11,1 %). Содержание масел составляет (35,3–36,0 %).

Из образца песчаника на площади Элистанжи извлечен эпигенетичный ХБ, состав которого близок к нефти (рис. 4).

Выявленные в РОВ пород средней юры в большом количестве окисленные ХБ относятся, вероятнее всего, к остаточным эпигенетичным ХБ, которые представляют собой наиболее полярные компоненты нефти – асфальте-

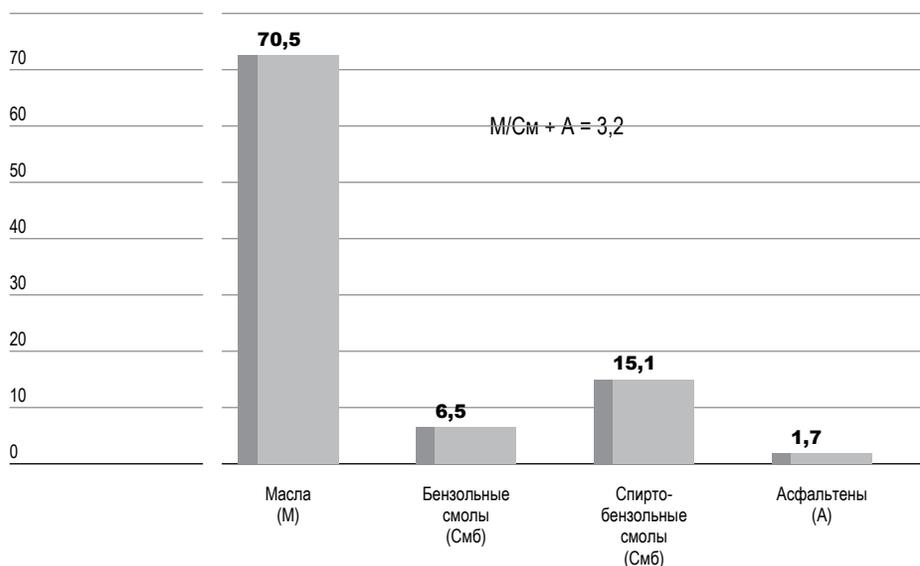


Рис. 4. Компонентный состав эпигенетического ХБ из среднеюрского (J2b) песчаника (площадь Элистанжи) ТКПП.

но-смолистые вещества. Содержание масел в составе этих ХБ имеет подчиненное значение.

ХБ с сильно восстановленным составом в РОВ пород средней юры не обнаружено, что может являться следствием эффективного проявления процесса миграции УВ из пород. На эффективность этого процесса (высокая нефтеотдача) указывают также низкое содержание ХБ в сингенетичном остаточном ОВ, рассеянном в отложениях средней юры, и широкое развитие в нем остаточных эпигенетических ХБ.

Анализ палеообстановки в бассейне седиментации на территории ТКПП в позднеюрское время свидетельствует о том, что в этот период здесь существовали условия в основном малоблагоприятные для накопления ОВ.

Результаты исследований показали, что породы верхнеюрского комплекса, за редким исключением, обеднены РОВ (рис. 5). По разрезу этих пород оно также рассеяно неравномерно. Чаще всего РОВ содержится в количестве, меняющемся в пределах 0,1–0,5%, что составляет 80% от числа определений. Образцы с содержанием РОВ более 0,5% встречаются редко (12% от числа определений).

По данным люминесцентного анализа в отложениях верхней юры среднее содержание Сор_г в разных литологических типах пород изменяются в

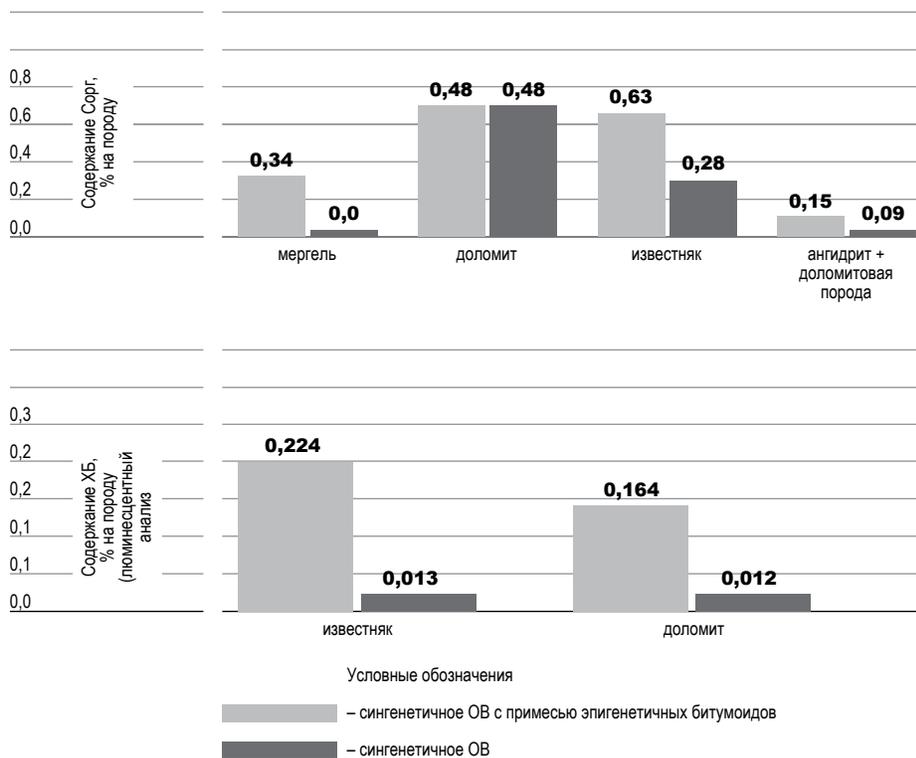


Рис. 5. Гистограммы распределения среднего содержания Сорг и ХБ (люминесцентный анализ) в породах верхней юры (J3o + km + tt) ТКП.

широких пределах (рис. 6). ХБ в породах распределены достаточно неравномерно. Установлено, что в карбонатных породах келловей-титона наиболее распространено РОВ (42% от числа определений), содержание ХБ в котором составляет 0,01–0,05% на породе. Более высокое содержание ХБ в РОВ пород (0,05 – 0,5% на породе) встречается реже – 30% от числа определений. Еще реже (28 % от числа определений) встречается РОВ пород с низким содержанием ХБ – менее 0,01 % на породе.

Наличие следов проявления интенсивной миграции УВ из материнских пород средней юры существенно затрудняет изучение РОВ пород верхнеюр-

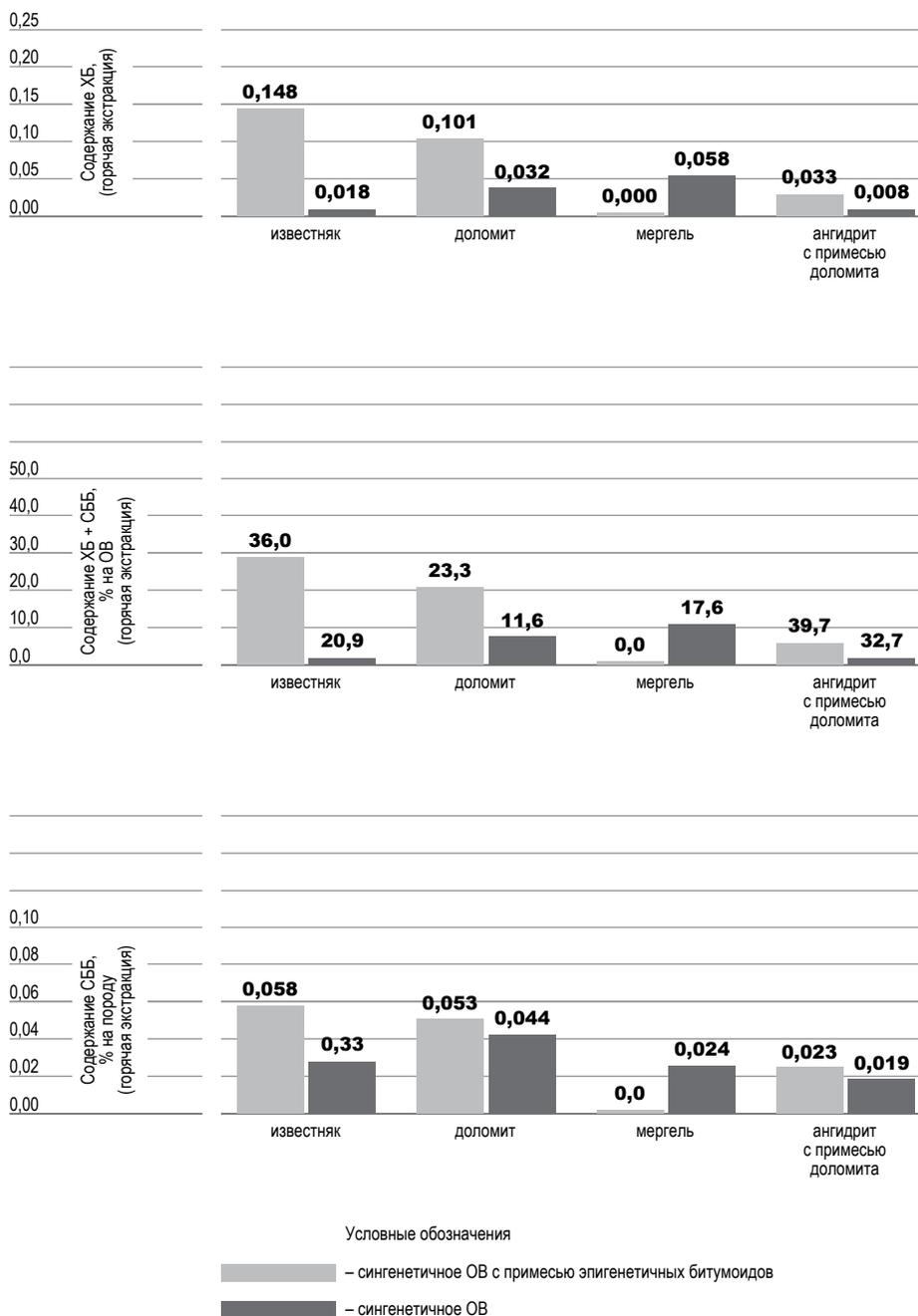


Рис. 6. Гистограммы распределения среднего содержания ХБ, СББ и ХБ+СББ в групповом составе ОВ (горячая экстракция) верхнеюрских отложений (J3o + km + tt) ТКПП.

ского комплекса, что, в частности, не позволяет с достаточной достоверностью выделять сингенетичное ОВ. Тем не менее, проведенными исследованиями удалось установить, что в карбонатной толще верхней юры присутствуют ХБ двух категорий – сингенетичные и смешанные.

Содержание сингенетичных ХБ в породах меняется от 0,002 до 0,025% по данным люминесцентного анализа и от 0,0006 до 0,4% по материалам горячей экстракции (см. рис. 6). Содержание смешанных ХБ по материалам вышеприведенных методов анализа варьирует в пределах соответственно 0,05–1,0 % и 0,05–0,4 %.

Сингенетичные ХБ довольно широко распространены в отложениях верхней юры (65% от числа определений). На долю смешанных ХБ приходится соответственно 35% от общего числа определений.

Сингенетичные ХБ пород оксфорда, кимериджа и титона характеризуются следующими показателями группового состава РОВ:

- коэффициент окисленности ССБ/ХБ = 1,4–2,2;
- битумоидный коэффициент β ХБ = 6,0–9,5 %;
- содержание ХБ < 0,025 % .

Изучение материалов элементного и компонентного анализов, показало, что сингенетичные ХБ верхнеюрских пород характеризуются пониженной восстановленностью. Элементный состав этих битумоидов содержит в среднем для разных типов пород: углерода – 75,04–78,20%, водорода – 9,65–11,40%, гетероэлементов 11,04–15,11%. Компонентный состав в среднем для разных типов пород включает: 14,7 – 26,0% масел, 45,2–72,0% смол и 6,75–27,2% асфальтенов.

Данные элементного анализа с использованием диаграммы Ван-Кревелена (см. рис. 1) позволили установить, что ОВ, рассеянное в отложениях рассматриваемого комплекса, относится, в пределах изучаемой территории ТКПП, преимущественно к сапропелевому типу.

Смешанные ХБ в карбонатных отложениях верхней юры присутствуют повсеместно. Чаще всего они заполняют трещины разных размеров, каверны и плоскости напластования пород. В западной части исследуемой территории ТКПП содержание этих битумоидов, по отдельным площадям варьирует в оксфорде от 0,18 до 0,23 %, а в кимеридж-титоне от 0,17 до 0,40 %. В восточной части этой же территории содержание смешанных ХБ составляет в среднем по разрезу всего комплекса пород 0,05 %.

Исследования показали, что смешанные ХБ имеют несколько окисленный состав, что позволяет рассматривать их как продукт изменения мигрирующей нефти, образовавшийся в результате окисления легких УВ и значительного количества масляных фракций.

Выводы

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить следующее. Повышенное содержание (несмотря на значительную катагенетическую превращенность) и геохимические особенности РОВ среднеюрского терригенного комплекса в пределах изучаемой территории позволяют отнести эти отложения к нефтегазоматеринским. К этой же категории могут быть отнесены и аналогичные отложения раннеюрского возраста. Это подтверждает высказанное ранее некоторыми исследователями мнение о том, что ниже-среднеюрские отложения могут рассматриваться в качестве основного нефтегазоматеринского комплекса на территории Восточного Предкавказья [5].

Особенности литологического состава пород келловей-титона и невысокое содержание в них РОВ, связанные с условиями осадконакопления, не позволяют рассматривать эти отложения в качестве основного нефтегазоматеринского комплекса в разрезе юрских отложений.

Существование нефтегазоматеринских толщ в исследуемом комплексе пород юрского возраста, позволяет предполагать возможность открытия новых скоплений нефти и газа при наличии пород-коллекторов и ловушек для залежей УВ. С целью поисков пород-коллекторов и локальных поднятий в юрских отложениях ТКПП необходимо проведение на перспективных участках и площадях, выявленных в результате проведенных геологоразведочных работ, детализационных сейсмических исследований, сейсмогеологического моделирования и формирования детальной объемной модели геологической среды на основе глубинных сейсмических разрезов 2D и данных каротажа скважин.

Библиографический список

1. Полянский Б.В. Мезозойские угленосные формации северной окраины Мезотетиса. М.: Наука, 1989.
2. Польстер Л.А., Зхус И.Л., Гусева А.Н. и др. Органическое вещество и глинистые минералы Восточного Предкавказья. М.: АН СССР, 1960.
3. Яндарбиев Н.Ш. Оценка перспектив нефтегазоносности подселевых юрских отложений Терско-Каспийского передового прогиба // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья. М., 1999.
4. Суворова И.Н., Волобуев Г.П., Степанов А.Н. Особенности рассеянного органического вещества мезозойских отложений Северо-Восточного склона Кавказа // Органическое вещество в современных и ископаемых осадках: Тез. докл. XI Всесоюзного семинара. М.: МГУ. 1979. С. 242–343.
5. Родионова К.Ф., Максимов С.П., Телкова М.С. и др. О составе органического вещества мезозойских отложений Предкавказья // Особенности рассеянного органического вещества и нефтей на различных стадиях циклов нефтеобразования: Тр. ВНИГНИ. Вып. 153. М., 1974.

References

1. Polyanskij B.V. Mezozojskie uglenosnye formacii severnoj okrainy Mezotetisa (Mesozoic coal-bearing formations of the northern margin of Mesotetis). M.: Nauka, 1989.
2. Pol'ster L.A., Zhush I. L., Guseva A.N. i dr. Organicheskoe veshchestvo i glinistye mineraly Vostochnogo Predkavkaz'ya (Organic matter and clay minerals of the Eastern Ciscaucasia). M.: AN SSSR, 1960.
3. Yandarbiev N.Sh. Ocenka perspektiv neftegazonosnosti podsolevyh yurskih otlozhenij Tersko-Kaspijskogo peredovogo progiba (Evaluation of the prospects of oil and gas content of the subsalt Jurassic deposits of the Tersko-Caspian forward trough, in Geology) // Geologiya, metody poiskov, razvedki i ocenki mestorozhdenij toplivno-energeticheskogo syr'ya: M.: 1999.
4. Suvorova I.N., Volobuev G.P., Stepanov A.N. Osobennosti rasseyannogo organicheskogo veshchestva mezozojskih otlozhenij Severo-Vostochnogo sklona Kavkaza (Features of the dispersed organic matter of Mesozoic deposits of the North-Eastern slope of the Caucasus) // Organicheskoe veshchestvo v sovremennyh i iskopaemyh osadkah: Tez. Dokl. XI Vsesoyuznogo seminar. M.: MGU. 1979. S. 242–343.
5. Rodionova K.F., Maksimov S.P., Telkova M.S. i dr. O sostave organicheskogo veshchestva mezozojskih otlozhenij Predkavkaz'ya (On the composition of the organic matter of the Mesozoic sediments of the Ciscaucasia) // Osobennosti rasseyannogo organicheskogo veshchestva i neftej na razlichnyh stadiyah ciklov nefteobrazovaniya: Tr. VNIGNI. Vyp. 153. M.: 1974.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ», №2, 2018

УДК 612.06+004.5 Туровский Я.А. [Turovsky Ya.A.]

ВОЗМОЖНОСТИ ОСВОЕНИЯ ИНТЕРФЕСА МОЗГ-КОМПЬЮТЕР НА ОСНОВЕ СТАБИЛЬНЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЧКОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

**Possibilities of application he brain-computer
interface based on stable visual evoked potentials
with the use of virtual reality headset**

В работе проведен анализ возможности освоения пользователями интерфейсов мозг-компьютер на основе SSVEP. Исследовались два варианта освоения – стационарный, где пользователь взаимодействовал с монитором, по периферии которого располагались шесть светодиодов, и мобильный, где пользователь надевал модифицированные очки дополненной реальности с интегрированной системой фотостимуляции. С учетом высокого разброса данных внутри групп методом кластерного анализа (K-среднее) были выявлены пользователи, продемонстрировавшие неспособность к освоению с первого раза и без предварительных тренировок систем НКИ, а так же ряд пользователей демонстрирующих подобные возможности. При этом было выделено две подгруппы таких испытуемых: для одних характерно усвоение высоких частот α -ритма, однако, низкие частоты как α -ритма так и β -ритма для данных испытуемых не давали требуемое качество усвоения фотостимуляции, для других наоборот, именно низкие частоты как α -ритма так и β -ритма давали наилучшие результаты. В случае AR-очков испытуемые так же давали относительно высокие результаты в области низких частот α -ритма. Полученные результаты позволяют утверждать, что для значительного процента пользователей освоение AR-очков интегрированных с синхронными системами мозг-компьютер может быть относительно успешной уже с первой попытки.

The work analyzes the possibility of users mastering brain-computer interfaces based on SSVEP. Two variants of development were studied – stationary, where the user interacted with a monitor, on the periphery of which six light-emitting diodes were located, and mobile, where the user put on modified glasses of augmented reality with an integrated photostimulation system. Taking into account the high dispersion of data within the groups, using cluster analysis (K-mean), users were identified who demonstrated inability to learn from the first time and without preliminary training of BCI systems, as well as a number of users demonstrating such opportunities. In this case, two subgroups of such subjects were singled out: for some, the absorption of high frequencies of the α -rhythm is characteristic, however, the low frequencies of both α -rhythm and β -rhythm for these subjects did not give the required quality of assimilation of photostimulation, for others on the contrary, α -rhythm and β -rhythm gave the best results. In the case of AR-glasses, the subjects also gave relatively high results in the low-frequency region of the α -rhythm. The obtained results allow to state that for a significant percentage of users the development of AR-points integrated with synchronous brain-computer systems can be relatively successful already at the first attempt.

Ключевые слова: интерфейсы мозг-компьютер, SSVEP, очки виртуальной реальности.

Key words: brain-computer interfaces, eye-tracking interfaces.

Введение

Развитие информационных технологий в области программного обеспечения, схемотехники, высокопроизводительных вычислений позволило с конца 90-х годов XX-го века большому числу исследователей приступить к реализации проектов обеспечивающих непосредственное взаимодействие головного мозга с управляемыми им устройствами. Разработанные системы получили названия нейро-компьютерных интерфейсов – НКИ (синоним: интерфейс мозг-компьютер – ИМК) [1–3]. Для этих систем характерна регистрация теми или иными методами активности мозга и превращение этой активности в команды для внешних устройств: компьютера, самоходного шасси, летающей платформы и т.д. Теоретически, подобные эргатические системы могут быть самыми быстрыми решениями для передачи команд, поскольку сигналы с головного мозга не проходят проводящие пути, идущие к мышцам и не затрачивается время на электромеханическое сопряжение последних. Однако, фактические решения в области НКИ в настоящее время демонстрируют существенно худшие результаты по скорости и точности распознавания и передачи команд, чем классические интерфейсы: клавиатура, джойстик, мышь. Ещё одной серьёзной проблемой данной технологии является ограничение движения человека, использующего данные интерфейсы. Для синхронных НКИ требуется наличие каких-либо стимуляторов, обеспечивающих генерацию вызванных потенциалов. Обычно в роли таких стимуляторов выступают либо светодиоды (для интерфейсов на основе стабильных зрительных вызванных потенциалов – SSVEP), либо же изменение определённых изображений на мониторе (для интерфейсов на основе SSVEP или компонента P300)[3,4]. Очевидно, что в последнем случае свободные перемещения пользователя существенно ограничены, что негативно сказывается на возможности практического внедрения технологии НКИ. Проблему возможно решить с использованием очков дополненной реальности (AR), в которых изображение получаемое с физических объектов, окружающих пользователя совмещается с теми или иными маркерами, обеспечивающими требуемую технологию НКИ. При использовании SSVEP более перспективным представляется решение с использованием SMD-светодиодов, однако, возникает вопрос относительно возможности освоения этой технологии пользователями, и соотношению эффективности фотостимуляции для навязывания необходимого ритма на ЭЭГ между светодиодами расположенными по периферии монитора и светодиодами интегрированными в очки дополненной реальности.

Целью исследования является оценка освоения технологии интерфейса мозг-компьютер на основе SSVEP с использованием фотостимуляторов расположенных по периферии монитора и интегрированных в очки дополненной реальности.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие 44 добровольцев мужского пола в возрасте от 19 до 22 лет. 30 из них проходили исследование с использованием светодиодов по периферии монитора, 14 – в AR очках. Все испытуемые имели нормальное или скорректированное до нормального зрение. В случае работы с монитором и диодами на нём испытуемый располагался в кресле, заняв удобную для себя позу перед 21// LCD монитором на котором демонстрировалось изображение с внешней web-камеры. Если же испытуемый работал с очками дополненной реальности то, находясь в этом же кресле он надевал указанные очки, представляющие собой корпус от очков виртуальной реальности с вмонтированным 7// экраном на который так же осуществлялась трансляция изображения с внешней web-камеры, закреплённой на пользователе. При этом в систему крепления очков были вмонтированы ЭЭГ электроды, обеспечив, по сути, совмещение шлема для электроэнцефалографических исследований и очком дополненной/виртуальной реальности (рис. 1). Нейроко-компьютерный (мозг-компьютер) интерфейс являлся синхронным и основывался на детекции устойчивых зрительных вызванных потенциалов (SSVEP). Регистрация ЭЭГ осуществлялась «Нейрон-Спектр-4 ВП» производства ООО «Нейрософт» со выключенным режекторным фильтром и выключенными фильтрами высоких и низких частот. Фотостимуляция осуществлялась шестью диодами белого цвета (0,5 Вт), расположенными на специальной рамке по краям монитора(в случае работы с монитором), или восемь, собранными в группы по два, интегрированными в очки дополнительной реальности(в случае работы с ними). По желанию испытуемого светодиоды закрывались рассеивателями из матовой бумаги различной толщины. Таким образом, создавались комфортные условия, предотвращающие чрезмерное утомление пользователя от ярких световых вспышек.

Регистрация ЭЭГ активности осуществлялась электродами в позициях O1, O2, Oz, P3, P4, Pz, индифферентным электродом служил объединённый ушной электрод. Обработка данных, после необходимого препроцессинга, осуществлялась как по алгоритму MSI [5–6] как наименее ресурсоёмкому из применяемых, так и на основе анализа частотных пиков в Фурь-спектре сигнала. В ходе работы с интерфейсом испытуемый последовательно, согласно предъявляемым командам смотрел на каждый из диодов. Таким образом, регистрировалась серия ЭЭГ паттернов, которая не содержала фрагментов связанных с переключением внимания между различными светодиодами, что неизбежно при, например, управлении самоходным шасси. Следовательно, указанная серия отражала только реакцию испытуемого на фотостимуляции конкретным светодиодом, при наличии других работающих светодиодов. Точность работы всех интерфейсов определялась как число правильно определённых светодиодов, при том, что было известно на каком именно светодиоде сосредотачивал внимание испытуемый в данной серии. Порядок

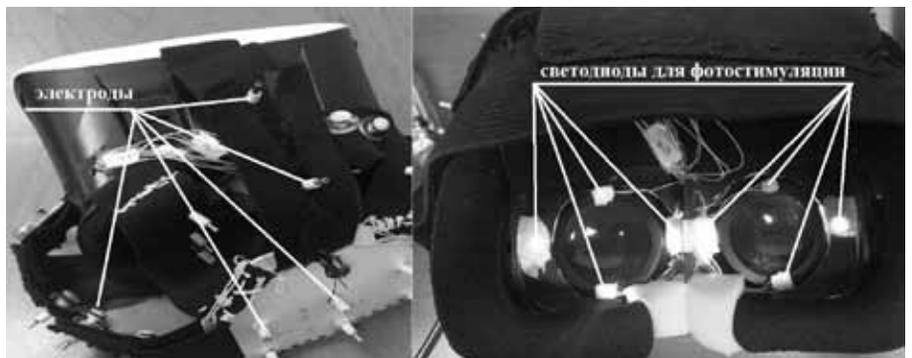


Рис. 1. Внешний вид используемых в эксперименте очков дополненной реальности на базе очков виртуальной реальности.

предъявления светодиодов выбирался случайно. При этом, если для монитора использовались шесть светодиодов и соответственно шесть частот фотостимуляции (9.009, 10.10, 11.11, 12.19, 13.33, 14.49 Гц), то в очках дополненной реальности технических это было невозможно осуществить, т.к. верхняя и нижняя пара светодиодов должны были мигать с одной и той же частотой. В противном случае, частоты стимуляции правого и левого глаз различались бы. Таким образом, в случае AR-очков использовались только четыре частоты стимуляции (9.009, 10.10, 11.11, 12.19 Гц).

В статистическом анализе полученных результатов использовались методы дескриптивной статистики, а, учитывая, что распределения большинства показателей не являются нормальными, применялись критерии непараметрической статистики: критерии Крускайла-Уоллеса, Манна-Уитни, Фридмана и Вилкоксона для парных случаев [7, 8], при этом параметр α принимался равным 5%. Для выявления индивидуальных и групповых особенностей исследуемых показателей применялся кластерный анализ (метод К-средних). Учитывался эффект множественных сравнений.

Результаты исследования и их обсуждение

Медианные и квантильные значения точности распознавания предъявленных пользователю стимулов представлены на рис. 1 а и б. Применительно к светодиодам, расположенным по периферии монитора имеется близкая зависимость, что отмечена, например, здесь [9]: пик распознавания стимулов, а следовательно амплитуда SSVEP максимальны в области α -ритма, а с ростом частоты и достижением низкочастотного β -ритма амплитуда падает. При этом использование алгоритмов, на основе преобразования Фурье значительно ($p \ll 0,001$) превосходило, для шести диодов и монитора, по точности распознавания алгоритмы, на основе MSI.

Таблица 1. ЧИСЛО ПРАВИЛЬНО РАСПОЗНАННЫХ СТИМУЛОВ

Частота стимула (Гц)	9,009	10,1	11,11	12,19	13,33	14,49
Диоды по периферии монитора	13	15	12	8	7	6
Диоды в AR-очках	5	4	6	1	–	–

Данные результаты вступают в противоречие с модельными исследованиями [10], где алгоритмы на основе MSI продемонстрировали существенное преимущество в точности детектирования SSVEP в диапазоне отношений сигнал/шум от 1/0 до 1/200. Объяснения этих различий могут указывать на то, что используемый в модельном сигнале белый шум, имитирующий «фоновую ЭЭГ» не достаточно воспроизводит спектральные особенности этого сигнала.

Однако, полученные результаты позволяют предположить, что существует пул пользователей, способных освоить интерфейс на основе SSVEP с первой попытки и без предварительной тренировки и пул пользователей неспособных на это. Для выделения означенных групп был использован метод кластерного анализа (метод K- средних): 80% испытуемых составили кластер №1, демонстрирующий показатели распознавания стимулов на уровне случайных величин. Эти пользователи не смогли бы освоить НКИ на основе SSVEP в первой же попытке и без тренировки. Однако 20% испытуемых (6 человек) продемонстрировали возможности для управления системами на основе НКИ без предварительной тренировки. Обращает внимание, что пользователи успешно овладевшие технологией имеют двугорбый профиль детекции стимулов: это либо низкие частоты α -ритма, либо близкие к α -ритму частоты β -ритма. Частоты между ними не вызывали в затылочной коре вызванные потенциалы, которые можно было с высокой вероятностью детектировать с использованием алгоритма на основе преобразования Фурье.

Для оценки результатов кластерного анализа, согласно применяемым нами подходам [11, 12] было проведено дальнейшее дробление выборки, с целью выделения новых вариантов типовых реакций пользователя. При выделении трёх кластеров удалось получить картину, отличную от двухкластерного дробления. Как видно из рис. 3 по прежнему значительная часть пользова-

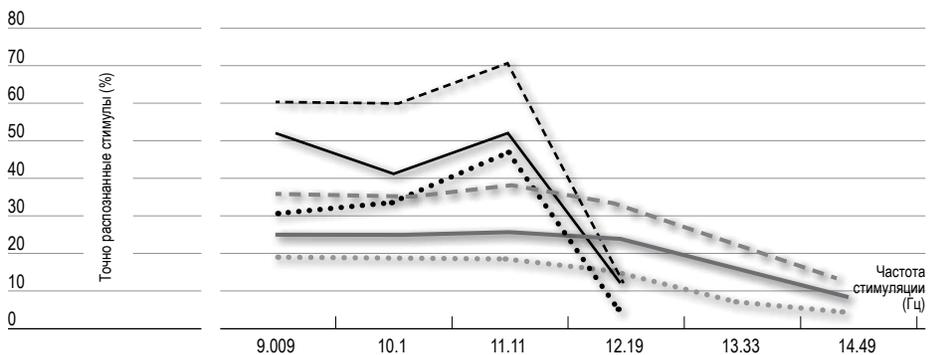


Рис. 1.а. Результаты распознавания стимулов для всей выборки по алгоритму модифицированный MSI. Сплошная линия – медианные значения, пунктирная линия – верхний квантиль, **круговая** – нижний квантиль. Черным цветом выделены результаты с AR-очками, серым – с монитором.

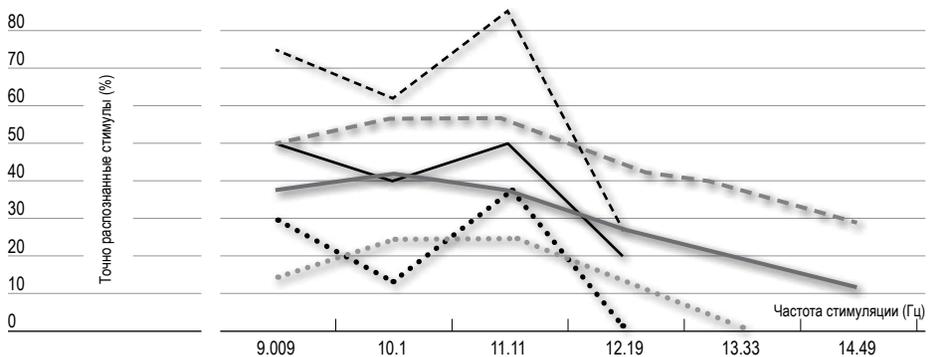


Рис.1.б. Результаты распознавания стимулов для всей выборки по алгоритму на основе преобразования Фурье. Обозначения – см. рис. 1а.

телей (15 человек из 30), составившая кластер №3 не смогла освоить технологию НКИ, однако, оставшиеся 15 человек показали иную динамику. Кластер №1(7) составили те же испытуемые(добавился один новый пользователь), что ранее составляли эту же группу. Ещё один кластер составили 8 человек, продемонстрировавших эффект усвоения высоких частот α -ритма, однако, низкие частоты как α -ритма так и β -ритма для данных испытуемых не давали требуемое качество усвоения фотостимуляции.

Таким образом, можно говорить о наличии двух типов пользователей, с разными особенностями усвоения фотостимуляции: первые лучше усваивают высокие частоты диапазона α -ритма и прилегающие к ним частоты β -ритма, вторые – низкие частоты α -ритма и прилегающие и частоты β -ритма, при этом в высокочастотной области α -ритма усвоения не наблюдается.

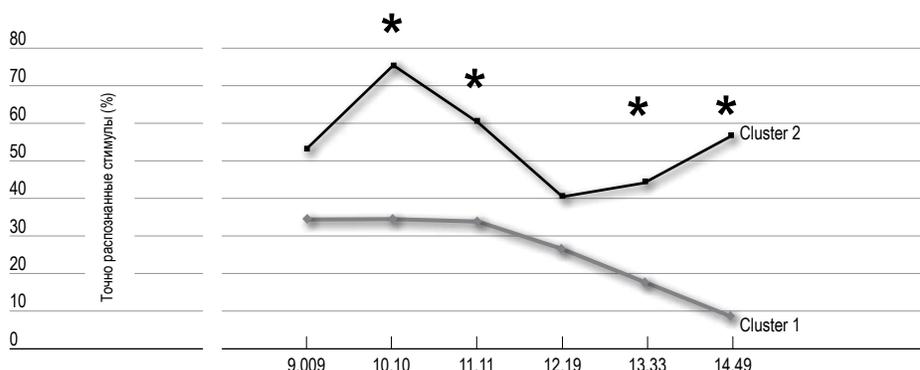


Рис. 2. Результаты кластерного анализа точности распознавания символов для шести светодиодов по периферии монитора и использованием алгоритма на основе преобразования Фурье. * – $p < 0,01$.

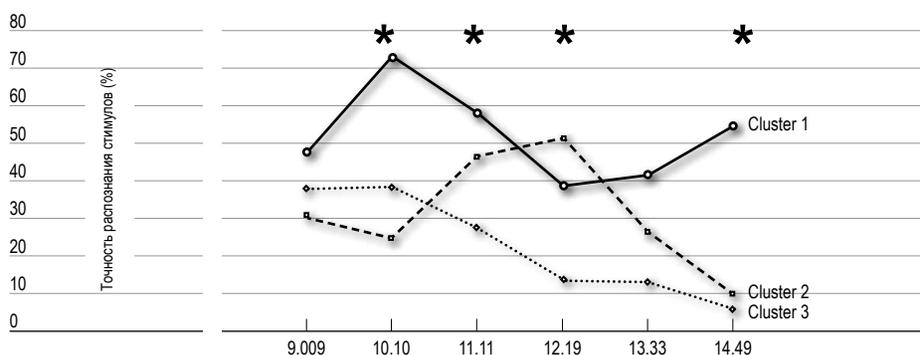


Рис. 3. Результаты кластерного анализа точности распознавания символов для шести светодиодов по периферии монитора и использованием алгоритма на основе преобразования Фурье. * – $p < 0,01$.

Результаты кластерного анализа освоения НКИ с использованием AR-очков представлены на рис. 4. С учетом небольшой группы испытуемых разделение осуществлялось только на два кластера, и статистически-значимые различия были выявлены только для одной частоты (9,009 Гц). Как и в экспериментах с монитором и светодиодами по его периферии были выделены группа не справившихся с освоением НКИ (кластер № 1, 8 случаев), и 6 человек, составившие кластер № 2, где средние результаты по трём самым низким частотам из четырёх были выше уровня случайного срабатывания. Из шести только два пользователя в первой попытке и без предварительной подготовки продемонстрировали уровень концентрации внимания, обеспечивающий распознавание SSVEP с точностью превышающей 85% в трёх частотах. Распознавание SSVEP по модифицированному алгоритму MSI показало схожие резуль-

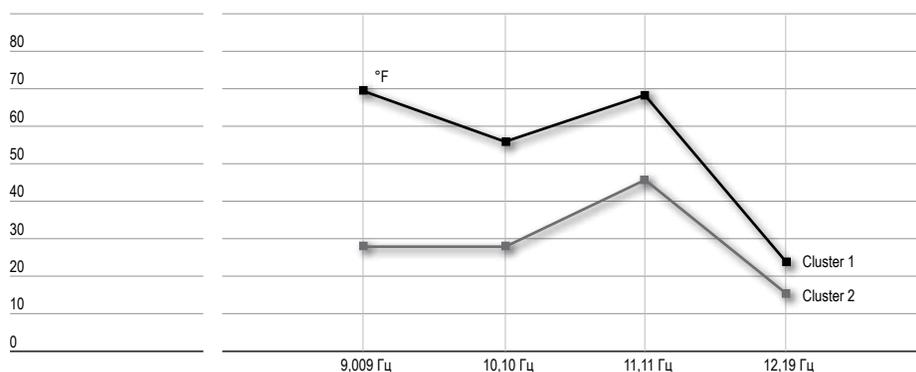


Рис. 4. Результаты кластерного анализа точности распознавания символов для четырёх групп светодиодов в AR-очках и использованием алгоритма на основе преобразования Фурье. *- $p < 0.01$.

таты, включая распределение испытуемых по кластерам.

Выводы

В работе проведен анализ возможности освоения пользователями интерфейсов мозг-компьютер на основе SSVEP. Исследовались два варианта освоения – стационарный, где пользователь взаимодействовал с монитором, по периферии которого располагались шесть светодиодов, и мобильный, где пользователь надевал модифицированные очки дополненной реальности с интегрированной системой фотостимуляции. С учетом высокого разброса данных внутри групп методом кластерного анализа (K-среднее) были выявлены пользователи, продемонстрировавшие неспособность к освоению с первого раза и без предварительных тренировок систем НКИ, а так же ряд пользователей демонстрирующих подобные возможности. При этом было выделено две подгруппы таких испытуемых: для одних характерно усвоение высоких частот α -ритма, однако, низкие частоты как α -ритма так и β -ритма для данных испытуемых не давали требуемое качество усвоения фотостимуляции, для других наоборот, именно низкие частоты как α -ритма так и β -ритма давали наилучшие результаты. В случае AR-очков испытуемые так же давали относительно высокие результаты в области низких частот α -ритма. В целом, можно утверждать, что при использовании 2–3 команд около половины испытуемых достаточно успешно с первой попытки и без предварительной тренировки осваивают НКИ на основе SSVEP.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 16–29–08342-офи_м).

Библиографический список

1. Schalk G., McFarland D.J., Hinterberger T., Birbaumer N., Wolpaw J.R. BC12000: A general-purpose brain-computer interface (BCI) system // *IEEE Transactions On Biomedical Engineering*. 2004. vol. 51. Pp. 10341043.
2. Nicolas-Alonso L.F., Gomez-Gil J. Brain Computer Interfaces, a Review // *Sensors (Basel)*. 2012. 12(2): 1211–1279.
3. Farwell L.A., Donchin E. Talking off the Top of Your Head: Towards Mental Prosthesis Utilizing Event-related Brain Potentials // *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 1988. V. 70. P. 510–523.
4. Zhu D., Bieger J., Garcia Molina G., et al. A Survey of Stimulation Methods Used in SSVEP-Based BCIs // *Hindawi Publishing Corporation // Computational Intelligence and Neuroscience*. 2010. Article ID 702357.
5. Multivariate synchronization index for frequency recognition of SSVEP-based brain-computer interface / Ya. Zhang, P.Xu, K. Cheng, D. Yao // *Journal of Neuroscience Methods*. 2014. 221. P. 32–40.
6. Comparison of the influence of stimuli color on Steady-State Visual Evoked Potentials / R. Tello, S. Müller, A. Ferreira, T. Freire // *Bastos Res. Biomed. Eng.* 2015. V. 31(3). P. 218–231.
7. Рунион Р. Справочник по непараметрической статистике. Современный подход. М.: Финансы и статистика, 1982. 198 с. (Runyon R. *Nonparametric Statistic. A Contemporary Approach*. M. *Finansy i statistica*, 1982. 198 p. [in Russian]).
8. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1998. 459 с. (Glantz S. *Primer of biostatistics*. M. *Praktika*, 1998. 459 p. [in Russian]).
9. Garcia G. High Frequency SSVEPs for BCI Applications // *Computer-Human Interaction*. Florence, Italy, 2008.
10. Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Вахтин А.А., Борзунов С.В., Галыгина М.А. Сравнительная характеристика выделения вызванных потенциалов головного мозга на электроэнцефалограмме // *Доклады 19 международной конференции DSPA–2017*. Т. 1. С. 186–190.
11. Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Алексеев А.В. Анализ движения глаз человека при управлении самоходным шасси с использованием системы видеоокулографического интерфейса // *Сенсорные системы*. 2017. №1. С. 51–58.
12. Туровский Я.А., Глущенко А.С., Рыбалкин Е.А., Пикалов В.В. Оценка освоения “проприоцептивно”-тактильного канала обратной связи протезов верхней конечности // *Сенсорные системы*. 2017. №4. С. 322–330

References

1. Schalk G., McFarland D.J., Hinterberger T., Birbaumer N., Wolpaw J.R. BCI2000: A general-purpose brain-computer interface (BCI) system // *IEEE Transactions On Biomedical Engineering*. 2004. vol. 51. Pp. 10341043.
2. Nicolas-Alonso L.F., Gomez-Gil J. Brain Computer Interfaces, a Review // *Sensors (Basel)*. 2012. 12(2): 1211–1279.
3. Farwell L.A., Donchin E. Talking off the Top of Your Head: Towards Mental Prosthesis Utilizing Event-related Brain Potentials // *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 1988. V. 70. P. 510–523.
4. Zhu D., Bieger J., Garcia Molina G., et al. A Survey of Stimulation Methods Used in SSVEP-Based BCIs // *Hindawi Publishing Corporation // Computational Intelligence and Neuroscience*. 2010. Article ID 702357.
5. Multivariate synchronization index for frequency recognition of SSVEP-based brain-computer interface / Ya. Zhang, P.Xu, K. Cheng, D. Yao // *Journal of Neuroscience Methods*. 2014. 221. P. 32–40.
6. Comparison of the influence of stimuli color on Steady-State Visual Evoked Potentials / R. Tello, S. Müller, A. Ferreira, T. Freire // *Bastos Res. Biomed. Eng.* 2015. V. 31(3). P. 218–231.
7. Runyon R. (Spravochnik po neparametricheskoy statistike. Sovremennyy podhod) Nonparametric Statistic. A Contemporary Approach. M. Finansy i statistika, 1982. 198 p.
8. Glantz S. (Mediko-biologicheskaya statistika) Primer of biostatistics. M. Praktika, 1998. 459 p.
9. Garcia G. High Frequency SSVEPs for BCI Applications // *Computer-Human Interaction*. Florence, Italy, 2008.
10. Turovsky Y.A., Kurgalin S.D., Vakhtin A.A., Borzunov S.V., Galygina M.A. Sravnitel'naya harakteristika vydeleniya vyzvannyh potencialov golovnogo mozga na ehlektroehncefalogramme (Comparative data extraction algorithm caused potentials of the brain on elektoroentsefalogramme)//*DSPA–2017*. V.1. C. 186–190.
11. Turovsky YA, Kurgalin SD, Alekseev A.V. Analiz dvizheniya glaz cheloveka pri upravlenii samohodnym shassi s ispol'zovaniem sistemy videookulograficheskogo interfejsa (Analysis of the movement of the human eye during the control of the self-propelled chassis using the video-oculographic interface system). // *Sensory systems*. 2017. №1. Pp. 51–58.
12. Ya. A. Turovsky, A. S. Glushchenko, E. A. Rubalkin, V. V. Pikalov Ocenka osvoeniya "proprioceptivno"-taktil'nogo kanala obratnoj svyazi protezov verhnej konechnosti (Evaluation of the efficiency of channel development of proprioceptive feedback for myoelectric prostheses of the upper limb) // *Sensory systems*. 2017. №4. Pp. 322–330.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

«Наука. Инновации. Технологии», №2, 2018

Антонов Сергей Анатольевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией ГИС-технологий ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» г. Михайловск. Тел.: 8-903-409-38-27. E-mail: santosb@mail.ru.

Бейтуганова Марина Анатольевна, аспирант Института нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета. E-mail: miss.teuvageva@mail.ru. Телефон: +7(928)717-15-32.

Белов Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. Телефон: 8 (4722) 30-13-00 (доб. 2174). E-mail: Belov@bsu.edu.ru.

Блужина Анастасия Сергеевна, научный сотрудник НУЛ «Экоаналитическая лаборатория» СКФУ, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, корп. 2, ауд. 334. E-mail: institutkaska@mail.ru (вести переписку), тел. 89624037577.

Ватишвили Михаил Рубенович, кандидат географических наук, Доцент, Грузинский государственный научно-технический центр «Дельта» министерства обороны Грузии. Грузия, г. Тбилиси, ул. Габриеля Салоса, 191 Научный консультант по проектам.

Водопьянова Дарья Сергеевна, кандидат географических наук, доцент, преподаватель кафедры физической географии и кадастров Северо-Кавказского федерального университета. Адрес – город Ставрополь, улица Пушкина 1. Телефон: +79887517399., E-mail: darina_000023@rambler.ru.

Гасумов Рамиз Алиевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства нефтяных и газовых скважин Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 88652563026. E-mail: Priemnaya@scnipgaz.ru.

Глушченко И.В., аспирант кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета. molotov48@mail.ru.

Гридин Владимир Алексеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой Геологии нефти и газа. E-mail: gridinva@mail.ru. Телефон +7(962) 443-20-20.

Дерябин Михаил Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник института повышения квалификации научно-педагогических кадров Северо-Кавказского федерального университета. Адрес: Россия, 355009, Ставрополь, ул. Пушкина 1, СКФУ. E-mail: m.i.deryabin@rambler.ru. Телефон: (8652) 75-35-70.

Диденко Павел Анатольевич, кандидат географических наук, доцент, преподаватель кафедры физической географии и кадастров Северо-Кавказского федерального университета. Адрес: г. Ставрополь, улица Пушкина 1. Телефон: +79187485260. E-mail: didenkor@yandex.ru.

Ерина Марина Васильевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей и теоретической физики института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета. Адрес: Россия, 355009, Ставрополь, ул. Пушкина, 1, СКФУ. E-mail: Shishlina@mail.ru Телефон: 8-905-462-08-48.

Жданова Наталья Владимировна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики, электротехники и электроники инженерного института Северо-Кавказского федерального университета (ИИ СКФУ). Домашний адрес: Адрес: Россия, 355029, Ставрополь, пр. Кулакова 2, ИИ СКФУ e-mail: zhdanova_n@rambler.ru. Телефон: 8-928-308-47-03.

Жиляков Евгений Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. Телефон: 8 (4722) 30-13-92, E-mail: Zhilyakov@bsu.edu.ru.

Иваненко Ксения Ивановна, аспирант кафедры "Экология и природопользование" СКФУ, направления 05.06.01. Науки о земле. Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, корп. 2, ауд. 334. E-mail: k.ivanenko.ivanovna@mail.ru , тел. 8-962-014-87-24.

Исприян Анна Гагиковна, аспирант кафедры общей и теоретической физики института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета. Телефон +7(962)006-83-23. E-mail. anna.hay@bk.ru.

Ляшенко Екатерина Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и кадастров Северо-Кавказского федерального университета. Адрес: г. Ставрополь, ул. Пушкина 1. Телефон: +7-906-478-56-75. E-mail: Ljashenko_Ekaterina@mail.ru.

Махмудов Рахим Камилович, кандидат географических наук. Северо-Кавказский федеральный университет, кафедра социально-экономической географии, геоинформатики и туризма. E-mail: rakimkam@mail.ru.

Мовсесова Виктория Валерьевна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры экологии и природопользования, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, корп. 2, ауд. 327. E-mail: viktoriya-movsesova@yandex.ru, (8652) 95-68-00, (доб. 49-05).

Олейник Иван Иванович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. Телефон: 8 (4722) 30-13-00 (доб. 2174). E-mail: Oleinik_i@bsu.edu.ru.

Папоротная Анна Александровна, канд. геол.-минерал. наук, до-

цент кафедры геофизические методы поиска и разведки полезных ископаемых СКФУ. Телефон: (961) 453-79-91. E-mail: anna2273@yandex.ru.

Редькина Татьяна Валентиновна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и математического моделирования Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 8-918-744-92-67. Email: TVR59@mail.ru.

Романькова Татьяна Сергеевна, старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, Телефон: 8 (4722) 30-13-00 (доб. 2174). E-mail: Romankova@bsu.edu.ru.

Ротанова Ирина Николаевна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры физической географии и ГИС, Алтайский государственный университет. 656049, Барнаул, пр. Ленина, 61. E-mail: rotanova07@inbox.ru.

Савина Юлия Андреевна, младший научный сотрудник ОАО «ВолгоградНИПИморнефть». Телефон: (905) 335-68-27. E-mail: AStepanov@Lukoilvmn.ru.

Скрипнюк Олеся Владимировна, канд. геол.-минерал. наук, зам. технического директора ОАО «СевКавГИПРОводхоз». Телефон: (962) 446-24-49. E-mail: skripnyk@mail.ru.

Скрипчинская Евгения Андреевна, кандидат географических наук, доцент, преподаватель кафедры физической географии и кадастров Северо-Кавказского федерального университета. Адрес: город Ставрополь, улица Пушкина 1. Телефон: +79054120721. E-mail: gerdtea@yandex.ru.

Скрипчинский Андрей Владимирович, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, корп. 2, ауд. 122. Тел.: 89054120722 E-mail: ron1975@list.ru.

Соловьев Иван Алексеевич, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета (тел.: +78652330286, мобильный тел.: +79054155624).

Степанян Арсен Арменович, инженер по охране и защите леса II категории, ГКУ «Дирекция особо охраняемых природных территорий Ставропольского края», г. Ставрополь, ул. Гражданская, д. 9, каб. 308. E-mail: stepanyan-1994@mail.ru, тел. 89283092905

Сурнева Олеся Борисовна, аспирант кафедры общей и теоретической физики, Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 33-01-45. Email: ien_skfu@mail.ru.

Тикунов Владимир Сергеевич, доктор географических наук, профессор, зав. лабораторией комплексного картографирования, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, МГУ, Ленинские горы, д. 1. E-mail: vstikunov@yandex.ru.

Туровский Ярослав Александрович, к.м.н., доцент, заведующий лабораторией, старший научный сотрудник. Воронежский государственный университет; г. Воронеж, Университетская пл. д 1. Институт проблем управления РАН Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65 Yaroslav_turovsk@mail.ru, тел. 8 904 213 82 95

Черкасов Александр Александрович, кандидат географических наук. Северо-Кавказский федеральный университет, кафедра социально-экономической географии, геоинформатики и туризма. E-mail: cherkasov_stav@mail.ru.

Шальнев Виктор Александрович, доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института повышения квалификации научно-педагогических кадров Северо-Кавказского федерального университета. Адрес: город Ставрополь, ул. Пушкина, 1. Телефон: +7-962-447-05-24. E-mail: Phisgeo@yandex.ru.

Щитова Наталия Александровна, доктор географических наук, профессор кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета (Тел: 8-905-466-91-20. E-mail: stavgeo@mail.ru).

Эшроков Виталий Мурадинович, кандидат географических наук. Северо-Кавказский федеральный университет, кафедра физической географии и кадастров. E-mail: eshrokov@mail.ru.

Яновская Ольга Сергеевна, аспирант кафедры общей и теоретической физики, старший преподаватель кафедры прикладной математики и математического моделирования Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: (8652) 33-01-45. Email: ien_skfu@mail.ru.

Ярошенко Анатолий Андреевич, канд. геол.-минерал. наук, доцент, академик МАМР, чл.-кор. АН РФ, Северо-Кавказское отделение МАМР. Телефон: (962) 401-09-62. E-mail: Yarosh43@mail.ru.

ABOUT THE AUTHORS

«Наука. Инновации. Технологии», №2, 2018

Antonov Sergey Anatolevich, Ph.D of Geographical Sciences, leading researcher, Head of laboratory GIS technology FSBSI « North-Caucasian federal scientific agrarian center» Mikhailovsk Tel.: 8-903-409-38-27. E-mail: santosb@mail.ru.

Beituganova Marina Anatolyevna, graduate student of institute of oil and gas of North-Caucasus Federal University. E-mail: miss.teuvageva@mail.ru. Phone +7(928)717-15-32.

Belov Sergey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Phone: 8 (4722) 30-13-00 (ext. 2174). E-mail: Belov @ bsu. edu.ru.

Bluzhina Anastasiya, Researcher place of work North Caucasian Federal University, Stavropol, st. Pushkin, 1, Bldg. 2, room. 334. E-mail: institutka-aska@mail.ru, tel. 89624037577.

Cherkasov A.A. North-Caucasian federal university, department of socio-economic geography, geoinformatics and tourism, candidate of geographical sciences: E-mail: cherkasov_stav@mail.ru.

Deryabin Mihail Ivanovich, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Leading Researcher of the Institute for Advanced Training of Research-Pedagogical Staff, NCFU, 1, Pushkin Str., Stavropol. E-mail: m.i.deryabin@rambler.ru. Phone: 8-928-010-97-55.

Didenko Pavel Anatolievich, candidate of geographical sciences, associate professor of the Department of Physical Geography and inventories of the North Caucasus Federal University. Address: a city of Stavropol, Pushkin Street 1. Telephone: +79187485260. E-mail: didenkop@yandex.ru.

Erina Marina Vasilyevna, Candidate of Physics and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate professor of the Department of General and Theoretical Physics, Mathematics and Natural Sciences Institute, NCFU, 1, Pushkin Str., Stavropol. E-mail: Shishlina@mail.ru. Phone: 8-905-462-08-48.

Eshrokov V.M., North-Caucasian federal university, department of physical geography and cadastre, candidate of geographical sciences. E-mail: eshrokov@mail.ru.

Evgeny Georgiyevich Zhilyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Phone: 8 (4722) 30-13-92. E-mail: Zhilyakov@bsu.edu.ru.

Gasumov Ramiz Aliyevich, doctor of Technical Sciences, professor, professor of Oil and Gas Wells Construction Department in the North Caucasus Federal University. Phone: 88652563026. E-mail: Priemnaya@scnipigaz.ru.

Gluschenko I.V., North-Caucasian federal university, department of socio-economic geography, geoinformatics and tourism, post-graduate student: molotov48@mail.ru.

Gridin Vladimir Alekseevich, doctor of geological-mineralogical Sciences, Professor, head of Department of Geology of oil and gas of North-Caucasus Federal University. E-mail: gridinva@mail.ru Phone +7(962)443-20-20.

Ispiryann Anna, graduate student of the Chair of General and Theoretical Physics of the Institute of Mathematics and Natural Sciences of the North Caucasus Federal University. Phone number +7 (962) 006-83-23. E-mail. anna.hay@bk.ru.

Ivan Soloviev, Candidate of Geographic Science; Associate Professor; Department for Socio-Economic Geography, Geoinformatics & Tourism, North-Caucasus Federal University (Tel: 8-905-415-56-24; E-mail: soloivan@mail.ru).

Ivanenko Ksenia Ivanovna, postgraduate of the Department "Ecology and nature" SKFU, directions 05.06.01. Earth science. North-Caucasus Federal University, Stavropol, Pushkin street, 1, korp. 2, AUD. 334. E-mail: k.ivanenko.ivanovna@mail.ru , tel. 8-962-014-87-24.

Lyashenko Ekaterina Aleksandrovna, candidate of geographical sciences, associate professor of the Department of Physical Geography and inventories of the North-Caucasus Federal University. Address: a city of Stavropol, Pushkin Street 1. Telephone: +7906-478-56-75,. E-mail: Ljashenko_Ekaterina@mail.ru.

Makhmudov R.K., North-Caucasian federal university, department of socio-economic geography, geoinformatics and tourism, candidate of geographical sciences: rakimkam@mail.ru.

Movsesova Victoria Valeryevna, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology and Nature Management, North-Caucasian Federal University, Stavropol, ul. Pushkin, 1, building. 2, aud. 327. E-mail: viktoriya-movsesova@yandex.ru, (8652) 95-68-00, (ext 49-05).

Natalia Shchitova, Doctor of Geographic Science, Professor; Department for Socio-Economic Geography, Geoinformatics & Tourism, North-Caucasus Federal University (Tel: 8-905-466-91-20. E-mail: stavgeo@mail.ru).

Oleinik Ivan Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University. Phone: 8 (4722) 30-13-00 (ext. 2174). E-mail: Oleinik_i@bsu.edu.ru.

Paportnaya Anna Aleksandrovna, Ph.D. of geological and mineralogical sciences, Associate Professor of the Department of Geophysical Methods of Prospecting and Exploration of Mineral Resources of SKFU. Phone: (8961) 453-79-91. E-mail: anna2273@yandex.ru.

Redkina Tatyana Valentinovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, associate professor of the Department of Applied Mathematics and Mathematical Modeling of the North Caucasus Federal University. Phone: 8-918-744-92-67. E-mail: TVR59@mail.ru.

Romankova Tatyana Sergeevna, Senior Lecturer, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Phone: 8 (4722) 30-13-00 (ext. 2174). E-mail: Romankova@bsu.edu.ru.

Rotanova Irina Nikolaevna, Ph.D (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and GIS, 656049, Barnaul, Altai state university. E-mail: rotanova07@inbox.ru.

Savina Julia Andreevna, Junior Researcher, VolgogradNIPImorneft. Phone: (905) 335-68-27. E-mail: AStepanov@Lukoilvmn.ru.

Shalnev Viktor Alexandrovich, doctor of geographical sciences, professor, leading researcher at the Institute of advanced training of scientific and pedagogical personnel of the North-Caucasus Federal University. Address – a city of Stavropol, Pushkin Street 1. Telephone: +7-962-447-05-24. E-mail: Phisgeo@yandex.ru.

Skipchinskaya Evgeniya Andreevna, candidate of geographical sciences, pre-penny, lecturer of the Department of Physical Geography and inventories of the North Caucasus Federal University. Address: a city of Stavropol, Pushkin Street 1. Telephone: +79054120721. E-mail: gerdtea@yandex.ru.

Skipchinsky Andrey Vladimirovich Ph.D of Geographical Sciences, associate Professor Assistant Professor of social and economic geography, geo-Informatics and tourism North-Caucasus Federal University, Stavropol, St. Pushkina, 1, korp. 2, room. 122. Tel.: 89054120722 E-mail: ron1975@list.ru.

Skipnyuk Olesia Vladimirovna, Cand. geol.-mineral. sciences, deputy. Technical Director of JSC "SevKavGIPvodkhoz". Phone: (962) 446-24-49. E-mail: skipnyk@mail.ru.

Stepanyan Arsen Armenovich, Engineer for protection of forest category II, GKU «Direction of specially protected natural areas Stavropol region», Stavropol, st. Grajdanskaya, 9, room. 308. E-mail: stepanyan-1994@mail.ru. Tel. 89283092905.

Surneva Olesya Borisovna, post-graduate student of the Department of General and Theoretical Physics, North-Caucasian Federal University. Phone: (8652) 33-01-45. Email: ien_skfu@mail.ru.

Tikunov Vladimir Sergeevich, Professor, Head of Integrated Mapping Laboratory, Lomonosov Moscow state university, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, vstikunov@yandex.ru.

Turovskiy Yaroslav Aleksandrovich, PhD, associate Professor; head of laboratory, senior researcher, Voronezh state University; Voronezh, University square. d 1 V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS Russia, 117997, Moscow St. Profsoyuznaya, d. 65

Vatiashvili Mikhail Rubenovich, Candidate of geographical sciences
The senior lecturer Georgian state scientific and technological center "Delta"
Ministries of Defence of Georgia Scientific consultant for projects +995 598-
341-451. E-mail: Mivv123@mail.ru. 191 Monk Gabriel Salos Ave. 0144.

Vodopiyanova Daria Sergeevna, candidate of geographical sciences,
associate professor of the Department of Physical Geography and inventories
of the North Caucasus Federal University. Address: a city of Stavropol, Pushkin
Street 1. Telephone: +79887517399. E-mail: darina_000023@rambler.ru.

Yanovskaya Olga Sergeevna, postgraduate student of the Department
of General and Theoretical Physics, senior lecturer of the Department of Applied
Mathematics and Mathematical Modeling of the North Caucasus Federal
University. Phone: (8652) 33-01-45. Email: ien_skfu@mail.ru.

Yaroshenko Anatoly Andreevich, Ph.D. of geological and mineralogical
sciences, Associate Professor, Academician of MAMR, member-cor. ATN RF.
Phone: (962) 446-24-49. E-mail: skripnyk@mail.ru.

Zhdanova Natalya Vladimirovna, Candidate of Physics and Mathe-
matical Sciences, Associate professor of the Department of Physics, Electrical
Engineering and Electronics, Engineering Institute, NCFU, 2 Kulakov Prospect,
Stavropol. E-mail: zhdanova_n@rambler.ru. Phone: 8-928-308-47-03.

CONTENTS

«Наука. Инновации. Технологии», №2, 2018

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

- Vatiashvili M.R.** Evaluation of the influence on the environment of argentum iodide applicable in anti-hail protection 7
- Deryabin M.I.,
Erina M.V., Zhdanova N.V.**
разных матрицах при 77 к. 25
The specific features of the effect of excitation intensity and concentration on the population of the triplet level of molecules in glassy matrices at 77 k 25
- Zhilyakov E.G., Belov S.P.,
Romankova T.S., Oleinik I.I.**
Processing of signals in linear systems 35
- Ispiryay A.G.** Magnetic properties of ferrofluid with magnetized aggregates. magnetization relaxation peculiarities 49
- Redkina T.V.** Solitone solutions complexifications of the Korteweg – de Vries equation 61
- Yanovskaya O.S., Surneva O.B.**
Nonlinear equations in partial derivatives, related to the operator of Dirac 75

EARTH SCIENCES**Antonov S.A., Skripchinskii A.V.**

Use of remote sensing data for long-term
monitoring of agricultural landscapes. 89

Beituganova M.A., Gridin V.A.

Evaluation of the hydrocarbon potential of the
eastern for-caucasus and areas of possible
localization hydrocarbon 101

Gasumov R.A.

Selection and assessment of filtration-capacitive parameters for clay reservoirs 115

**Didenko P.A., Vodopyanova D.S.,
Skripchinskaya E.A.**

Assessment of landscape sustainability of
Stavropol Region to anthropogenic load. 127

Movsesova V.V., Bluzhina A.S., Ivanenko K.I., Stepanyan A.A.

Determination of the level of dust load of snow
cover in the zone of influence of Urupsky
mining and processing plant 139

Soloviev I.A., Chchitova N.A.

Territorial features of migrant-phobia in the
cities of the North Caucasus 149

Rotanova I.N., Tikunov V.S.

Approaches of formation of the altai cluster
of international tourism in context of trans-
continental transport corridors economic zone
of the silk road. 161

Shalnev V.A., Lyashenko E.A.

Integration processes in geography and its
place in the system of sciences 175

**Eshrokov V.M., Makhmudov R.K.,
Cherkasov A.A., Gluschenko I.V.**

GIS-analysis of town-building development of
the city-resort Kislovodsk 185

**Yaroshenko A.A., Paprotnaya A.A.,
Savina Yu. A., Skripnyuk O.V.**

Assessment main of the oil and gas source
properties of the jurassic rocks of the tersko-
caspian foredeep 197

BIOLOGICAL SCIENCES

Turovsky Ya.A. Possibilities of application he brain-computer
interface based on stable visual evoked po-
tentials with the use of virtual reality headset 211

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ 221

ABOUT THE AUTHORS 223

CONTENTS 225

Научное издание

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

2018

Выпуск 2

Издательство Северо-Кавказского федерального университета.
г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.

Корректор – М.И. Толмачев.

Компьютерная верстка – О.Г. Полевич.

Подписано в печать 25.06.2018 г. Выход в свет 30.06.2018 г.
Формат 70 × 108 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага
офсетная. Усл. печ. л. 20,30. Тираж 1000 экз. Цена 534 руб.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».
355029, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 2.