Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758

Выпуск №3, 2020 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

Свидетельство о регистрации выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
ПИ № ФС77–52723 от 8.02.2013

Подп. 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 редакции и издателя: 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
Телефон (8652) 33–07–32
Сайт www.ncfu.ru
E-mail 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»

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 355017 Stavropol, Pushkin street, 1
Phone 8 (8652) 33–07–32
Site www.ncfu.ru
E-mail nit_ncfu@mail.ru

ISSN 2308–4758

СОДЕРЖАНИЕ

«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ», № 3, 2020

«Наука. Инновации. Технологии», № 3, 2020 г.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

01.01.09
УДК 004.9, 004.94, 004.56

ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Коляда А.А., Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко, Белорусского государственного университета, Минск, Республика Беларусь

Бабенко М.Г., Протасеня С.Ю. Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Российская Федерация

МЕТОД ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕКОДИРУЮЩЕЙ ОПЕРАЦИИ В ПОРОГОВОЙ МИМА-КРИПТОСИСТЕМЕ РАЗДЕЛЕНИЯ СЕКРЕТА С МАСКИРУЮЩИМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

Введение. В статье предложен новый метод восстановления пространственно разделяемого секрета в рамках порогового принципа по наборам частичных секретов, принадлежащих группам абонентов, число которых ограничено снизу установленным порогом.

Материалы и методы исследований. В целях сокращения временных затрат на выполнение данной операции в качестве компьютерно-арифметической базы применена минимально избыточная модулярная арифметика (МИМА). В отличие от неизбыточных аналогов МИМА обладает более эффективными немодульными процедурами, что позволяет оптимизировать декодирующую операцию в пороговой МИМА-криптосхеме разделения секрета.

Результаты исследований и их обсуждение. Отличительной особенностью развиваемого подхода является использование для секрета-оригинала областей изменения, представляющих собой кольца вычетов по модулям вида степеней числа 2. Это значительно упрощает декодирующую операцию, выполняемую по методу деления на двоичную экспоненту.

Выводы. Благодаря отмеченным особенностям, разработанный метод реконструкции исходного секрета по кодам секрета-маски превосходит неизбыточные аналоги как минимум в $\frac{l(19l-3)}{2(11l-3)}$ – раз (l – число абонентов, восстанавливающих секрет-оригинал). При l = 7÷ 40 достигается (6.15 ÷ 34,65) — кратное увеличение производительности.

Ключевые слова: пороговое разделение секрета, криптосхемы разделения секрета, маскирующее преобразование, декодирующая операция, модулярный код, модулярные системы счисления, минимально избыточная модулярная арифметика.

Kolyada A.A, A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of Belarusian State University, Minsk, Belarus
Babenko M.G., North-Caucasus Federal University,
Protasenia S. Yu. Stavropol, Russia

Method for Performing a Decoding Operation in a Threshold Mrma Cryptosystem of Secret Separation with Masking Transformation

Introduction: the article proposes a new method for recovering a spatially shared secret within the threshold principle based on sets of partial secrets belonging to subscriber groups, the number of which is limited from below by a specified threshold.

Materials and methods of the research: to reduce the time spent on performing this operation, minimally redundant modular arithmetic (MRMA) is used as a computer arithmetic base. Unlike non-redundant analogs, MRMA possesses more efficient non-modular procedures, which makes it possible to optimize the decoding operation in the threshold MRMA-crypto-scheme of secret sharing.

The results of the research and their discussion: a distinctive feature of the developed approach is the use of change areas for the original secret, which are rings of residues in moduli of the form of powers of 2. This greatly simplifies the decoding operation performed by the binary exponential division method.

Conclusions: due to the noted features, the developed method for reconstructing the original secret using secret-mask codes surpasses the non-redundant counterparts by at least $\frac{l(19l-3)}{2(11l-3)}$ times (l is the number of subscribers restoring the original secret). At l = 7÷ 40, a (6.15 ÷ 34,65) – fold increase in productivity is achieved.

Keywords: threshold secret sharing, secret sharing cryptographic schemes, masking conversion, decoding operation, modular code, modular number systems, minimally redundant modular arithmetic

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей актуальной задачей современного процесса развития распределенных компьютерных и инфокоммуникационных систем является надежное обеспечение необходимого уровня безопасности при хранении, обработке и передаче данных [1, 2]. При решении обозначенной задачи особую роль выполняет применяемая технология управления криптографическими ключами. В настоящее время к наиболее перспективным технологиям такого рода относят технологию активной безопасности [1, 3], которая базируется на периодическом обновлении ключей, одноразовых паролях и пространственном разделении секрета. На практике разделение секретной информации обычно осуществляется в рамках пороговых схем [1–12].

Реализуемое (t, n)-пороговой системой решающее правило обеспечивает разделение секрета n абонентами с возможностью его восстановления по компонентам, принадлежащим любым l участникам сеан-

са связи ($2 \le t \le 1 \le n$); t – пороговое число абонентов). При этом группы абонентов числом $k < t$ реконструировать секрет-оригинал по соответствующим компонентам не могут. Исходный и долевые секреты представляют собой большие целые числа (ЦЧ), поэтому эффективность выполняемых в пороговых криптосистемах преобразований определяется реализационными свойствами используемой технологии перевода осуществляемых вычислений из диапазонов больших чисел в диапазоны ЦЧ стандартной разрядности. В свете сказанного в качестве компьютерно-арифметической основы для криптографических приложений рассматриваемого класса целесообразно принять модулярную арифметику – арифметику модулярных систем счисления (МСС). Фундаментальные преимущества МСС наиболее полно удается реализовать в рамках так называемого минимально избыточного кодирования [2, 12–14].

Наиболее трудоемкой операцией в пороговых криптосистемах модулярной арифметики разделения секретной информации является реконструкция секрета-оригинала по модулярным кодам маскирующего аналога. Это обусловлено главным образом использованием в операциях данного класса вычислительных технологий, ориентированных на диапазоны больших чисел, а также соответствующих конфигураций интегрально-характеристической базы системы счисления в остатках. Настоящее сообщение посвящено разработке метода выполнения декодирующей операции в пороговом криптомодуле разделения секрета, базирующемся на минимально избыточной модулярной арифметике (МИМА) [1]. Применение вычислительной МИМА-технологии на диапазонах больших чисел для решения рассматриваемой задачи позволяет в значительной мере минимизировать необходимые временные и аппаратурные затраты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 Принципиальные основы пороговых МИМА-криптосхем разделения секрета с маскирующим преобразованием

Введем обозначения:

— $\lfloor a \rfloor$ и $\lceil a \rceil$ – наибольшее и наименьшее ЦЧ соответственно не большее и не меньшее вещественной величины a;

— НОД (A, B) – наибольший общий делитель целых чисел A и B;

— $\boldsymbol{Z}_m = \{0, 1, \ldots, m-1\}$ – множество наименьших неотрицательных вычетов (остатков) по натуральному модулю $m > 1$;

— $\chi = |A/B|_m = (A/B) \pmod m$ – элемент множества $\mathbf{Z}_m$, удовлетворяющий сравнению $B\chi \equiv A(\mathrm{mod}\, m)$ ($B \neq 0$, НОД $(B, m) = 1$);

— $\mathbf{M}\_l = \{m_1, m_2, \ldots, m_l\}$ – базис МСС, состоящий из $l > 1$ попарно простых модулей (оснований);

— $(|X|_{m_1}, |X|_{m_2}, |X|_{m_l})$ – представление ЦЧ X (модулярный код) в МСС с базисом $\mathbf{M}\_l$.

Пусть $p_1, p_2, \ldots, p_n$ – упорядоченные по возрастанию попарно простые большие натуральные числа ($n > 1$); $\mathrm{P}_i = \prod_{s=1}^{i} p_s$; $\_P_j = \prod_{s=1}^{j} p_{n-s+1} = / P_{n-j}$ $(i, j = 1, n)$; $\mathbf{P} = \{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$; $\mathbf{I}\_l = \{\forall(i_1, i_2, \ldots, i_l)\} | 1 \le i_1 < i_2 < \ldots < i_l \le n$; ($t$ – фиксированное натуральное число); $I\_l = (i_1, i_2, \ldots, i_l)$ – произвольный элемент множества I_l $\mathbf{P}_{I\_l} = \{p_{i_1}, p_{i_2}, \ldots, p_{i_l}\}$; $\mathrm{P}_{I\_l} = \prod_{j=1}^{l} p_{i_j}$.

Концептуальную основу (t, n)-пороговой схемы разделения секрета с модулярным базисом $\mathbf{P} = \mathbf{P}\_n = \{p_1, p_2, \ldots, p_l\}$ которая рассчитана на полное число n и пороговое число t абонентов распределенной системы, составляют нижеследующие определяющие положения.

А. Исходный секрет (секрет-оригинал) представляет собой ЦЧ $S \in \mathbf{Z}_p$ (p – большой модуль, взаимно простой с $p_1, p_2, \ldots, p_n$).

Б. Над S в МСС с базисом $\mathbf{P}$ выполняется маскирующее преобразование вида

$$\tilde{\boldsymbol{S}} = S + C \cdot p, \tag{1}$$

где C – псевдослучайный целочисленный параметр.

Цифры $\tilde{\sigma}_{i_1} = |\tilde{\boldsymbol{S}}|_{p_i} = \left|\sigma_i + |\mathrm{C} \cdot p|_{p_i}\right|_{p_i}$ ($\sigma_i = |S|_{p_i}$; $i = 1, n$) получаемого кода $(\tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2, \ldots, \tilde{\sigma}_l)$ рассматриваются как долевые (частичные) секреты, принадлежащие одноименным абонентам.

В. Любые l абонентов ($t \le l \le n$) могут восстановить секрет-оригинал S по принадлежащим им долевым (маскирующим) секретам. Но никакая группа абонентов количеством $k < t$ сделать этого не может.

Представляемые исследования нацелены на решение задачи восстановления секрета-оригинала S по кодам $(\tilde{\sigma}_{i_1}, \tilde{\sigma}_{i_2}, \tilde{\sigma}_{i_l})$ МСС с базисами $\mathbf{P}_{I\_l}$ $(I\_l \in \mathbf{I}\_l)$ маскирующего аналога (1) (см. пункт А) с обеспечением минимизации временных затрат на выполнение резуль-

тирующей декодирующей процедуры при сохранении максимального уровня криптостойкости, присущего классическим пороговым схемам, таким, в частности, как схемы Шамира, Блэкли и другие [3–11]. При этом для синтеза искомого декодирующего алгоритма (алгоритма восстановления секрета-оригинала) используются метод деления на двоичную экспоненту, а также вычислительная МИМА-технология [2].

Основополагающая идея предлагаемой алгоритмизации преобразования $\tilde{S} \to S$ состоит в использовании для кодирования секрета-маски $\tilde{S}$ семейства минимально избыточных МСС (МИМСС), определяемых базисами $\mathbf{P}_{I\_l}$, которые отвечают группам абонентов числом l. Без нарушения общности изложение дальнейшего материала преимущественно проводится на примере группы абонентов, за которыми закрепляются основания $p_1, p_2, \ldots, p_l$ набора $\mathbf{P}\_l$ – представителя множества $\mathbf{P}_{\mathbf{I}\_l}$ с $I\_l = (1, 2, \ldots, l)$ $\mathbf{I}\_l$. Долевые секрета, принадлежащие абонентам указанной группы являются цифрами кода $(\tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2, \ldots, \tilde{\sigma}_l)$ МСС с модулями $p_1, p_2, \ldots, p_l$ секрета-маски $\tilde{S}$.

В компьютерных алгоритмах МИМА фундаментальную роль выполняет интервально-модулярная форма чисел. В случае ЦЧ $\tilde{S} = (\tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2, \ldots, \tilde{\sigma}_l)$ она имеет вид

$$\tilde{S} = \sum_{i=1}^{l-1} P_{i,l-1}\tilde{\sigma}_{i,l-1} + P_{l-1}I_l(\tilde{S}), \tag{2}$$

где

$$P_{i,l-1} = \frac{P_{l-1}}{p_i}, P_{l-1} = \prod_{s=1}^{l-1} p_s;$$

$$\tilde{\sigma}_{i,l-1} = \left| P_{i,l-1}^{-1}\tilde{\sigma}_i \right|_{p_i}; \tag{3}$$

интервальный индекс числа $\tilde{S}$ по базису $\mathbf{P}\_l$. Принцип минимально избыточного модулярного кодирования раскрывает нижеследующая теорема [2, 13, 14].

Теорема 1. Для того, чтобы в МСС с базисом $\mathbf{P}\_l$ интервальный индекс $I_l(\tilde{S})$ каждого элемента $\tilde{S}$ диапазона $\mathbf{Z}p = \{0, 1, \ldots, P-1\}$ ($\mathrm{P} = p_0\mathrm{P}_{l-1}$; p_0 – вспомогательный модуль) полностью определялся вычетом $\hat{I}_l(\tilde{S}) = |I_l(\tilde{S})|_{pl}$, необходимо и достаточно выполнения условия

$$p_l \geq 2\,p_0 + l\ (p_0 \geq l - 2) \tag{4}$$

При этом для $I_l(\tilde{S})$ верны расчетные соотношения:

$$I_l(\tilde{S}) = \begin{cases} \hat{I}_l(\tilde{S}), & \text{если } \hat{I}_l(\tilde{S}) < p_0, \\ \hat{I}_l(\tilde{S}) - p_l, & \text{если } \hat{I}_l(\tilde{S}) \geq p_0; \end{cases} \tag{5}$$

$$\hat{I}_l(\tilde{S}) = \left| \sum_{i=1}^{l} R_{i,l}(\tilde{\sigma}_i) \right|_{p_l} \tag{6}$$

$$R_{i,l}(\tilde{\sigma}_i) = \left| -p_i^{-1} \left| P_{i,l-1}^{-1} \tilde{\sigma}_i \right|_{p_i} \right|_{p_l} (i \neq l),\ R_{l,l}(\tilde{\sigma}_l) = \left| \frac{\tilde{\sigma}_l}{P_{l-1}} \right|_{p_l}. \tag{7}$$

Главное преимущество МИМСС с базисами $\mathbf{P}_{I\_l}$ ($I\_l \in \mathbf{I}\_l$) над неизбыточными аналогами обусловлено l-кратным сокращением реализационных затрат на вычисление интервального индекса, осуществляемое по формулам вида (5) – (7) [2, 13, 14].

Корректное согласование порогового принципа разделения секрета и минимально избыточного модулярного кодирования с обеспечением необходимого уровня криптостойкости результирующей МИМА-схемы дает нижеследующая теорема [12].

Теорема 2. Для того, чтобы любые l абонентов ($2 \le t \le l \le n$; t – фиксированное ЦЧ) могли восстановить S по соответствующему коду МСС маскирующего секрета $\tilde{S}$, удовлетворяющей условию вида (4) минимальной избыточности (см. теорему 1), но никакая группа абонентов числом $k < t$ не имела такой возможности, достаточно выполнения системы условий:

$$\begin{cases} \tilde{S} \in \tilde{\mathbf{S}} = \{\tilde{S}_{\text{нп}}, \tilde{S}_{\text{нп}} + 1, \dots, \tilde{S}_{\text{вп}}\} \subseteq \{\_P_{t-1}, \_P_{t-1} + 1, \dots, p_0 P_{t-1} - 1\}, \\ C \in \tilde{\mathbf{C}} = (\mathbf{C} \backslash \mathbf{C}_p), \end{cases}$$

где $\tilde{S}_{\text{нп}}$ и $\tilde{S}_{\text{вп}}$ – используемые нижнее и верхнее пороговые значения секрета-маски $\tilde{S}$;

p_0 – вспомогательный модуль, удовлетворяющий ограничению $p_0 \le p_0 - t + 2$;

$$\mathbf{C} = \{C_{\text{НП}}, C_{\text{НП}} + 1, \dots, C_{\text{ВП}}\}\ (C_{\text{НП}} = \lfloor \tilde{S}_{\text{НП}}/p \rfloor;$$
$$C_{\text{ВП}} = \lfloor \tilde{S}_{\text{ВП}}/p \rfloor);$$
$$\mathbf{C}_p = \{\forall C \in \mathbf{C} | S + C \cdot p \in (\tilde{S}_{\text{НП}}; \tilde{S}_{\text{ВП}});$$
$$Q(\tilde{S}; j_1, j_2, \dots, j_k) =$$
$$= \left\lfloor \frac{\tilde{S}}{\prod_{i=1}^{k} p_{j_i}} \right\rfloor (1 \le j_1 < j_2 < \dots < j_k \le n; 2 \le k < t)\},$$

p – целитель ЦЧ Q.

2. Метод выполнения декодирующей операции в пороговом МИМА-криптомодуле разделения секрета с маскирующим преобразованием

Реконструкция секрета-оригинала по модулярным кодам маскирующего аналога является наиболее трудоемкой операцией в пороговых МА-криптосистемах разделения секрета. Из (1) вытекает равенство $S - |\tilde{S}|_p$, указывающее на то, что для получения S по $\tilde{S}$ достаточно ЦЧ $\tilde{S}$ привести к остатку по модулю p.

Рассмотрим случай, когда p представляет собой двоичную экспоненту: $p = 2^{b\_p}$ и пусть $r = 2^{b\_r}$, $b\_r \le b\_p$, $v = \lceil b\_r \le b\_p \rceil$, $(\tilde{S}_{v-1}, \tilde{S}_{v-2}, \ldots, \tilde{S}_0)_r$ $(\tilde{S}_j \in \mathbf{Z}_r;\ j = \overline{0, v-1})$ – код числа $|\tilde{S}|_{p^r}$ в позиционной системе счисления (ПСС) с основанием r разрядностью v цифр. Тогда основой для восстановления секрета-оригинала S по маскирующему секрету $\tilde{S}$ может служить формула

$$S = \left|\tilde{S}\right|_p = \left|\tilde{S}\right|_{2^{b\_p}} = (s_{v-1}\, s_{v-2}\, \ldots\, s_0)_r \tag{8}$$

$$s_j = \begin{cases} \tilde{s}_j \text{ при } j = \overline{0, v-2}, \\ \tilde{s}_{v-1}\left(\mathrm{mod}\left(\exp_2(b\_p - (v-1)b\_r)\right)\right) \text{ при } j = v-1. \end{cases} \tag{9}$$

Из (8), (9) следует, что в случае $p = 2^{b\_p}$ решение поставленной задачи: $\mathbf{P}\_l = \{p_1, p_2, \ldots, p_l\}$, сводится к преобразованию минимально избыточного модулярного кода (МИМК) $(\tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2, \ldots, \tilde{\sigma}_l)$ в позиционный r-ичный код $(\tilde{s}_{v-1}, \tilde{s}_{v-2}, \ldots, \tilde{s}_0)_r$. Это преобразование может быть осуществлено по методу деления на двоичную экспоненту [2]: маскирующего секрета $\tilde{S} = (\tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2, \ldots, \tilde{\sigma}_l)$ на $r = 2^{b\_r}$ причем по упрощенному МИМА-алгоритму.

Преобразование минимально избыточного модулярного кода $(\tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2, \ldots, \tilde{\sigma}_l)$ в позиционный r-ичный код $(\tilde{s}_{v-1}, \tilde{s}_{v-2}, \ldots, \tilde{s}_0)_r$ числа $\tilde{S}$ методом деления на двоичную экспоненту $r = 2^{b\_r}$ базируется на операционном кортеже рекурсивного типа:

$$\langle \tilde{S}_0 = \tilde{S}, \tilde{s}_0 = \left|\tilde{S}_0\right|_r; \tilde{S}_1 = \left\lfloor \tilde{S}_0/r \right\rfloor, \tilde{s}_1 = \left|\tilde{S}_1\right|_r; \tag{10}$$
$$\tilde{S}_2 = \left\lfloor \tilde{S}_1/r \right\rfloor, \tilde{s}_2 = \left|\tilde{S}_2\right|_r; \ldots; \tilde{S}_{v-1} = \left\lfloor \tilde{S}_{v-2}/r \right\rfloor, \tilde{s}_{v-1} = \left|\tilde{S}_{v-1}\right|_r \rangle.$$

На j-й итерации процесса реализации (10) сначала формируется минимально избыточный модулярной код $(\tilde{\sigma}_1^{(j)}, \tilde{\sigma}_2^{(j)}, \ldots, \tilde{\sigma}_l^{(j)})$ ЦЧ $\tilde{S}_j$, а затем находится цифра $\tilde{s}_j$ его r-ичного позиционного кода путем расширения полученного минимально избыточного модулярного кода на модуль $r = 2^{b\_r}$ согласно правилу:

$$\tilde{s}_j = \left|\tilde{S}_j\right|_r = \left|\sum_{i=1}^{l-1}\left|P_{i,l-1}\tilde{\sigma}_{i,l-1}^{(j)}\right|_r + \left|P_{l-1}I_l(\tilde{S}_j)\right|_r\right|_r \left(j = \overline{0,\eta-1}\right), \quad (11)$$

где

$$\tilde{\sigma}_{i,l-1}^{(j)} = \left|P_{i,l-1}^{-1}\tilde{\sigma}_i^{(j)}\right|_{p_i}; \quad (12)$$

интервально-индексная характеристика $I_l(\tilde{S}_j)$ числа $\tilde{S}$ j определяется по расчетным соотношениям (5)–(7) при $\tilde{S} = \tilde{S}_j$ и $\tilde{\sigma}_i = \tilde{\sigma}_i^{(j)}$ $(i = \overline{1,l})$.

Что касается числа $\tilde{S}_j$, то в соответствии с (10) для цифр его минимально избыточного модулярного кода верна формула

$$\tilde{\sigma}_i^{(j)} = \left|\left[\frac{\tilde{S}_{j-1}}{r}\right]\right|_{p_i} = \begin{cases} \tilde{\sigma}_i \text{ при } j = 0, \\ \left|\left|\tilde{\sigma}_i^{(j-1)} - \tilde{s}_{j-1}\right|_{p_i} \cdot \left|r^{-1}\right|_{p_i}\right|_{p_i} \text{ при } j = \overline{1,\nu-1} \end{cases} \quad (13)$$

$$\left(i = \overline{1,l}\right).$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3. Реализационный инструментарий метода деления на двоичную экспоненту для восстановления секрета-оригинала

Конкретный выбор способа компьютерной реализации базовых расчетных соотношений (10) – (13) предлагаемого метода модулярно-позиционного кодового преобразования в первую очередь определяется необходимостью оперирования в диапазонах больших чисел – в конечных кольцах по большим модулям $p_1, p_2, \ldots, p_n$. В частности, это относится к нормированным остаткам (12), вычетам (7) и (13).

Наряду с отмеченным фактором важной особенностью предлагаемой конфигурации метода деления на двоичную экспоненту $r = 2^{b\_r}$ является использование значений параметра b_r, допускающих применение так называемой таблично-сумматорной вычислительной технологии [2]. В процедурах расширения минимально избыточного модулярного кода и получения неполных частных на итерациях рекурсивного процесса (10) (см. (11), (13)).

Пусть $m \in \mathbf{P}$, X – элемент множества $\mathbf{Z}_m$, C – произвольный целочисленный масштаб. Тогда представляя X в позиционной системе счисления с основанием $u = 2^{b\_u}$ (b_u – натуральное число), то есть в виде

$$X = \sum_{h=0}^{\nu-1} x_h u^h \left(x_h \in \mathbf{Z}_u;\ \nu = \lceil b\_\mathrm{mod}/b\_u \rceil;\ b\_\mathrm{mod} = \lceil \log_2 m \rceil\right.$$

– разрядность модуля m), будем иметь:

$$\chi = |CX|_m = \left|\sum_{h=0}^{v-1}\left|Cx_h u^h\right|_m^-\right|_m. \quad (14)$$

Для компьютерной реализации выражений типа (14) воспользуемся таблицами аддитивных компонент масштабируемой позиционной формы ЦЧ *CX*, представляемых симметрическими остатками по модулю *m*. В соответствии с (14) необходимые таблицы формируются по правилу

$$TACMPF\_h[x] = \left|Cxu^h\right|_m^-(x=\overline{0,u-1};\ h=\overline{0,v-1}). \quad (15)$$

Слагаемые модульные суммы (14) могут быть как положительными, так и отрицательными, поэтому в таблицах (15) их следует хранить в двоичном дополнительном коде.

Применяемый способ вычисления вычетов χ по (14) является двух шаговым. На первом шаге с помощью таблиц (15) находится сумма

$$\Sigma = \sum_{h=0}^{v-1} TACMPF\_h[x_h], \quad (16)$$

а на втором – Σ приводится к остатку по модулю m. Определим максимальную разрядность b_Σ (в битах) суммы Σ. Из (15), (16) следует, что для нижнего и верхнего пороговых значений Σ верны оценки: $\Sigma_{НП} = -v(m/2)$ и $\Sigma_{ВП} = v(m/2) - 1)$. Таким образом,

$$b\_\Sigma = \lceil \log_2(\Sigma_{ВП} - \Sigma_{НП}) \rceil \le b\_mod + b\_v \quad (17)$$

($b\_v = \log_2 v\rceil$ – разрядность величины v).

Как показывает (17), суммирование вычетов (15) согласно (16) должно проводиться на двоичном сумматоре, разрядность b_Σ которого превышает разрядность b_mod сумматора по модулю m на b_v бит.

Обозначая через $(x_{b\_\Sigma-1}^{(\Sigma)}\ x_{b\_\Sigma-2}^{(\Sigma)}\ \dots x_0^{(\Sigma)})$ дополнительный двоичный код суммы Σ разрядностью b_Σ бит, разобьем его на две части – младшую

$$(x_{b\_mod-2}^{(\Sigma)}\ x_{b\_mod-3}^{(\Sigma)}\ \dots\ x_0^{(\Sigma)})_2$$

и старшую – $(x_{b\_\Sigma-1}^{(\Sigma)}\ x_{b\_\Sigma-2}^{(\Sigma)}\ \dots x_{b\_mod-1}^{(\Sigma)})_2$,

которые имеют соответственно разрядности $b\,mod - 1$ и $b\_v + 1$ бит, и принимая во внимание равенство $\Sigma = \sum_{h=0}^{b\_\Sigma-2} x_h^{(\Sigma)} 2^h - x_{b\_\Sigma-1}^{(\Sigma)} 2^{b\_\Sigma-1}$,

Заключаем, что для выполнения преобразования $\Sigma \to |\Sigma|_m$ может быть применена формула

$$\chi = |\Sigma|_m = |\Sigma_0 + \Sigma_1|_m, \tag{18}$$

где

$$\Sigma_0 = \sum_{h=0}^{b\_\mathrm{mod}-2} x_h^{(\Sigma)} 2^h; \tag{19}$$

$$\Sigma_1 = \left|\sum_{h=b\_\mathrm{mod}-1}^{b\_\Sigma-2} x_h^{(\Sigma)} 2^h - x_{b\_\Sigma-1}^{(\Sigma)} 2^{b\_\Sigma-1}\right|_m \tag{20}$$

Значения b-битового вычета Σ_1 по модулю m рассчитываются согласно (20) предварительно и записываются в табличную память – в таблицу TRes_MP по правилу

$$TRes\_MP[(x_{b\_\Sigma-1}^{(\Sigma)}\ x_{b\_\Sigma-2}^{(\Sigma)} \dots x_{b\_\mathrm{mod}-1}^{(\Sigma)})_2] = \Sigma_1. \tag{21}$$

Емкость таблицы (21) составляет 2^{b_v} слов разрядностью b_mod бит.

Описанный метод тривиальным образом распространяется и на случай принадлежности входного ЦЧ X и выходного вычета Σ конечным кольцам по разным модулям. В частности, это относится к вычетам

$$R_{i,l}\left(\tilde{\sigma}_{i,l-1}^{(j)}\right) = \left|-p_i^{-1}\tilde{\sigma}_{i,l-1}^{(j)}\right|_{p_l} (\tilde{\sigma}_{i,l-1}^{(j)} \in \mathbf{Z}_{p_i}),$$

то есть к вычетам второго каскада операции формирования слагаемых

$R_{i,l}\left(\tilde{\sigma}_i^{(j)}\right)$ модульной суммы вида (6) (см. (7), (12)).

Остановимся теперь на особенностях предлагаемой компьютерной реализации расчетных соотношений (8) и (12) операции расширения минимально избыточного модулярного кода ($\tilde{\sigma}_1^{(j)}$, $\tilde{\sigma}_2^{(j)}, \dots, \tilde{\sigma}_l^{(j)}$) числа $\tilde{S}_j$ на модуль $r - 2^{b\_v}$. Отметим, что исходными данными j-й итерации рекурсивного процесса (7) деления секрета-маски $\tilde{S}$ на r служат минимально избыточный модулярный код ($\tilde{\sigma}_1^{(j-1)}, \tilde{\sigma}_2^{(j-1)}, \dots, \tilde{\sigma}_i^{(j-1)}$) ЦЧ $\tilde{S}_{j-1}$ и цифра $\tilde{s}_{j-1}$ его r-ичного кода ($\tilde{s}_{\eta-1}, \tilde{s}_{\eta-2}, \dots \tilde{s}_0$). Следуя лемме Эвклида из теории делимости, представим i-ю цифру $\tilde{\sigma}_i^{(j-1)}$ минимально избыточного модулярного кода числа $\tilde{S}_{j-1}$ в виде

$$\tilde{\sigma}_i^{(j-1)} = \left|\tilde{\sigma}_i^{(j-1)}\right|_r + \left\lfloor\frac{\tilde{\sigma}_i^{(j-1)}}{r}\right\rfloor r. \tag{22}$$

С учетом (22) для всех $j = \overline{1, \eta - 1}$ из (12) получаем:

$$\tilde{\sigma}_i^{(j)} = \left| \left| \left[\frac{\tilde{\sigma}_i^{(j-1)}}{r} \right] \right|_{p_i} + \left| \frac{\left| \tilde{\sigma}_i^{(j-1)} \right|_r - \tilde{s}_{j-1}}{r} \right|_{p_i} \right|_{p_i} \quad (23)$$

Для компьютерной реализации выражение (23) более удобно, чем (12). Числитель $d_i^{(j-1)} = |\tilde{\sigma}_i^{(j-1)}|r - \tilde{s}_{j-1}$ дроби $f_i^{(j-1)} = d_i^{(j-1)}/r$ из (23) удовлетворяет неравенству $-(r-1) \le d_i^{(j-1)} \le r-1$, поэтому разность $d_i^{(j-1)}$ полностью определяется своим дополнительным $(b\_r + 1)$-битовым кодом или симметрическим остатком $\delta_i^{(j-1)} = |d_i^{(j-1)}|_{2^{b\_r+1}} = |d_i^{(j-1)}|_{2r}$ по модулю $2r$. Благодаря небольшой разрядности r, а значит и $\sigma_i^{(j-1)}$, величина $\varphi_i^{(j-1)} = |\delta_i^{(j-1)}/r|_{p_i}$ может быть получена табличным способом. Необходимая таблица генерируется по правилу

$$TRes\_f\_i[\delta\ \ ] = \left| \frac{\delta}{r} \right|_{p_i} (\delta = \overline{-r, r-1}). \quad (24)$$

Таким образом, вычисление i-й цифры МИМК числа $\tilde{S}_j$ по (23) с использованием таблицы (24) сводится к выделению из двоичного кода цифры $\sigma_i^{(j-1)}$ ЦЧ $\tilde{S}_{j-1}$ старшей $((b\_mod\_i)\text{-}r)$-битовой части $\tilde{\sigma}_i^{(j-1)}/r$ числа $\tilde{S}_{j-1}$, извлечению из таблицы $TRes\_f\_i$ по получаемому симметрическому остатку $\delta_i^{(j-1)} = |d_i^{(j-1)}|_{2r}$ величины $\varphi_i^{(j-1)} = TRes\_f\_i[\delta_i^{(j-1)}]$ и выполнению операции сложения по модулю p_i над вычетами $\|\tilde{\sigma}_i^{(j-1)}/r\|_{p_i}$ и $\varphi_i^{(j-1)}$. Отметим, что емкость таблицы $TRes\_f\_i$ составляет $r + 1$ слов разрядностью $b\_mod\_i = \lceil log\, 2p_i \rceil$ бит.

Что касается базового расчетного соотношения (8) операций расширения МИМК $(\tilde{\sigma}_i^{(j)}, \tilde{\sigma}_i^{(j)}, \ldots, \tilde{\sigma}_l^{(j)})$ чисел $\tilde{S}_j$, то для его реализации также применима таблично-сумматорная вычислительная технология. Это обеспечивается выбором приемлемого по величине модуля r. Основой представляемого подхода к выполнению операций расширения минимально избыточного модулярного кода служат таблицы остатков по модулю r слагаемых интервально-модулярной формы ЦЧ. Элементы этих таблиц определяются по формулам:

$$TRes\_AIMFi[\sigma] = \left| \left| P_{i,l-1} \right|_r \sigma \right|_r (\sigma = \overline{0, r-1};\ i = \overline{1, l}), \quad (25)$$

$$TRes_{AIMFl[I]} = \left| \left| P_{l-1} \right|_r I \right|_r (I = \overline{0, r-1}). \quad (26)$$

Используя (13), (9), а также (25), (26) запишем соотношение (8) в виде:

$$\tilde{s}_j = \left| \sum_{i=1}^{l-1} TRes\_AIMFi\left[\left| \tilde{\sigma}_{i,l-1}^{(j)} \right|_r \right] + TRes\_AIMFl\left[\left| \hat{I}_l(\tilde{S}_j) \right|_r \right] + C\_II \right|_r, \quad (27)$$

где C_II – поправка для интервального индекса числа $\tilde{S}_j$, которое в соответствии с (9) вычисляется по формуле

$$C\_II = (1 - sn(\hat{I}_l(\tilde{S}_j) - p_0) \cdot |-P_l|_r (P_l = P_{l-1} p_l); \quad (28)$$

sn – знаковая функция вида

$$sn(a) = \begin{cases} 0, \text{если} a \geq 0, \\ 1, \text{если } a < 0. \end{cases}$$

Отметим, что вычеты $\tilde{\sigma}^{(j)}_{i,l-1}$ находятся в процессе вычисления интервально-индексной характеристики $\hat{I}_l(\tilde{S}_j)$. Так как *r* является двоичной экспонентой, то получение остатков $|\tilde{\sigma}^{(j)}_{i,l-1}|_r$ и $|\hat{I}_l(\tilde{S}_j)|_r$, как аргументов для таблиц *TRes_AIMFi* и *TRes_AIMFl* в (27), а также остатка $|-P_l|_r$ сводится к выделению из двоичных кодов соответствующих ЦЧ *b_r*-битовых младших частей. Что касается интервально-индексной поправки *C_II*, то согласно (28) для её формирования требуется определить знак разности $\hat{I}_l(\tilde{S}_j) - p_0$. Это может быть осуществлено с помощью (1+*b*_mod_*l*)-битового сумматора. К важным факторам, способствующим упрощению декодирующей процедуры на основе метода деления на двоичную экспоненту, является простота вычисления модульной суммы (27). Компьютерная реализация (27) производится на *b_r*-битовых сумматорах причем без контроля переполнений.

Сравнительный анализ эффективности разработанного метода с неизбыточными версиями показывает, что по производительности он превосходит аналоги как минимум в l(19l-3)/(22l-6) раз. В частности, при l = 7 ÷ 40 достигается (6 ÷ 35)-кратное повышение производительности.

ВЫВОДЫ

Основные результаты представленных в статье исследований состоят в нижеследующем.

Изложены базовые концептуальные положения нового подхода к построению модулярных пороговых криптосхем разделения секрета с маскирующим преобразованием. Главными отличительными особенностями данного подхода являются применение согласованного с пороговым принципом минимально избыточного модулярного кодирования и использование для разработки метода выполнения декодирующей операции рекурсивной схемы деления на двоичную экспоненту, кратную модулю p кольца вычетов, содержащего секрет-оригинал. Это позволяет минимизировать необходимые временные и аппаратурные затраты с сохранением максимального уровня криптостойкости, свойственного схемам исследуемого класса.

Основной фактор, определяющий эффективность созданного метода восстановления секрета-оригинала по минимально избыточным

модулярным кодам секрета-маски, заключается в существенном упрощении поитерационных операций расширения кода на выбранную двоичную экспоненту. Главным образом это обусловлено l-кратным уменьшением сложности вычисления базовой интегральной характеристики кода (интервального индекса) по сравнению с традиционно применяемыми характеристиками. Отмеченное обстоятельство позволяет достичь повышения производительности предлагаемого метода в сравнении с аналогами не менее, чем в $\frac{l(19l-3)}{2(11l-3)}$ раз (l – число абонентов, реконструирующих секрет-оригинал).

Показано, что для компьютерной реализации разработанного метода успешно может быть применена таблично-сумматорная вычислительная технология. Для преобразований с ее помощью масштабируемых вычетов по большим модулям осуществляется приемлемая модулярная декомпозиция взвешенных позиционных форм вычетов с последующим табулированием результирующих аддитивных компонент. При этом получение искомого вычета сводится к извлечению из таблиц необходимых элементов и их суммированию по соответствующим модулям. Используемая таблично-сумматорная технология отличается высокой гибкостью.

Благодарность. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-70023.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Червяков Н.И. и др. Применение искусственных нейронных сетей и системы остаточных классов в криптографии. М.: Физматлит, 2012. 280 с.
2. Червяков Н.И., Коляда А.А., Ляхов П.А. и др. Модулярная арифметика и ее приложения в инфокоммуникационных технологиях. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. 400 с.
3. Харин Ю.С. и др. Криптология: учебник // Мн.: БГУ, 2013. 511 с.
4. Shamir Adi. How to share a secret // Communications of the ACM. 1979. Vol. 22, №11. P. 612-613.
5. Blakley G.R. Safe guarding cryptographic keys // Proc. Of the 1979 AFIPS national computer conference. Montvale: AFIPS press, 1979. P. 313-317.
6. Mignotte M. How to share a secret // Lecture notes in computer science. 1983. Vol. 149. P. 371–375.
7. Asmuth C.A., Bloom J. A modular appoach to key safe guarding // IEEE Tras. On information theory. 1983. Vol. 29, N. 2. P. 208–210.

8. Шнайер Б. Алгоритмы разделения секрета. Схема интерполяционных полиномов Лагранжа // Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. Н.: Триумф, 2002. С. 588-589.
9. Shiong Jian Shyu, Ying-Ru Chen. Treshold secret image sharing by Chinese remainder theorem // IEEE Asia – Pacific Services Computing conference. Yilan, Taiwan, 9–12 dec., 2008. Vol. 1. P. 1332–1337.
10. Bahramian Mojtaba, Khadijeh Eslami. An efficient threshold verifiable multisecret sharing scheme using generalized Jacobean of elliptic curves // Journal of algebraic structures and their applications. 2017. Vol. 4, Iss. 2. P. 45–55.
11. Jia Xingxing, Daoshun Wang, Daxin Nie, Xiangyang Luo, Jonathan Zheng Sun. A new threshold changeable secret sharing scheme based on the Chinese remainder theorem // Information sciences. 2019. Vol. 473. P. 13–30.
12. Коляда А.А., Кучинский П.В., Червяков Н.И. Пороговый метод разделения секрета на базе избыточных модулярных вычислительных структур // Информационные технологии. Т. 25, № 9. М.: Новые технологии, 2019. С. 553–561.
13. Коляда А.А., Пак И.Т. Модулярные структуры конвейерной обработки цифровой информации // Мн.: Университетское, 1992. 256 с.
14. Коляда А.А. Обобщенная интегрально-характеристическая база модулярных систем счисления // Информационные технологии. 2017. Т. 23, №9. М.: Новые технологии, 2017. С. 641–649.
15. Ananda Mohan P.V. Residue number systems: Theory and applications. Basel: Birghauser, Mathematics, 2016. 351 p.

References

1. Chervjakov N.I. The use of artificial neural networks and the residual class system in cryptography. Moscow: FIZMATLIT Publ., 2012, 280 p. (in Russian)
2. Chervjakov N.I., Koljada A.A., Ljahov P.A. ets. Modular arithmetic and its applications in infocommunication technologies. Moscow: FIZMATLIT Publ., 2017, 400 p. (in Russian)
3. Kharin Yu.S. and other. Cryptology: a textbook // Minsk: BSU, 2013. 511 p. (in Russian)
4. Shamir Adi. How to share a secret // Communications of the ACM. 1979. Vol. 22, N. 11. P. 612–613.
5. Blakley G.R. Safe guarding cryptographic keys // Proc. Of the 1979 AFIPS national computer conference. Montvale: AFIPS press, 1979. P. 313-317.
6. Mignotte M. How to share a secret // Lecture notes in computer science. 1983. Vol. 149. P. 371–375.
7. Asmuth C.A., Bloom J. A modular appoach to key safe guarding // IEEE Tras. On information theory. 1983. Vol. 29, N. 2. P. 208-210.
8. Schneier B. Secret Secretion Algorithms. Scheme of Lagrange interpolation polynomials, Prikladnaya kriptografiya. Protokoly, al-

goritmy, iskhodnyye teksty na yazyke Si. N.: Triumf, 2002. Pp. 588-589.

9. Shiong Jian Shyu, Ying-Ru Chen. Treshold secret image sharing by Chinese remainder theorem // IEEE Asia – Pacific Services Computing conference. Yilan, Taiwan, 9–12 dec., 2008. Vol. 1. P. 1332–1337.
10. Bahramian Mojtaba, Khadijeh Eslami. An efficient threshold verifiable multisecret sharing scheme using generalized Jacobean of elliptic curves // Journal of algebraic structures and their applications. 2017. Vol. 4, Iss. 2. P. 45–55.
11. Jia Xingxing, Daoshun Wang, Daxin Nie, Xiangyang Luo, Jonathan Zheng Sun. A new threshold changeable secret sharing scheme based on the Chinese remainder theorem // Information sciences. 2019. Vol. 473. P. 13–30.
12. Kolyada A.A., Kuchinsky P.V., Chervyakov N.I. The threshold secret sharing method based on redundant modular computing structures, Informatsionnyye tekhnologii. Vol. 25, no 9. M.: Novyye tekhnologii, 2019. Pp. 553–561. (in Russian)
13. Koljada A. A., Pak I. T. Modular structures of conveyor processing of digital information, Minsk, Universitetskoe, 1992, 256 p. (in Russian)
14. Kolyada A.A. Generalized integral-characteristic base of modular number systems, Informatsionnyye tekhnologii. 2017, Vol.23, no. 9, M.: Novyye tekhnologii, 2017, pp. 641–649. (in Russian)
15. Ananda Mohan P.V. Residue number systems: Theory and applications. Basel: Birghauser, Mathematics, 2016.351 p.

Поступило в редакцию 28.08.2020,
принята к публикации 01.09.2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Коляда Андрей Алексеевич, д.ф.-м.н., доц., главный научный сотрудник лаборатории специализированных вычислительных систем, Научно-исследовательское учреждение “Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко” Белорусского государственного университета (НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ)
Тел.: 8-10-375-17-212-47-45
E-mail: razan@tut.by

Бабенко Михаил Григорьевич кандидат физико-математических наук, доцент, **Северо-Кавказский федеральный университет**
Тел.: (8652) 95-68-00
E-mail: whbear@yandex.ru

Протасеня Стелла Юрьевна, научный сотрудник лаборатории специализи-

рованных вычислительных систем, Научно-исследовательское учреждение “Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко” Белорусского государственного университета (НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ).
Тел.: 8-10-375-17-212-47-45
E-mail: estellita@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

A.A. Kolyada, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, associate professor of Scientific Research Institution“Institute of Applied Physical Problems named after A.N. Sevchenko” of the Belarusian State University
tel.: 8-10-375-17-212-47-45
E-mail: razan@tut.by

M.G. Babenko Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, North-Caucasus federal university
tel.: (8652) 95-68-00
E-mail: mgbabenko@ncfu.ru

S.Yu. Protasenia, scientist, Laboratory of Specialized Computational Systems, Research Institution“Institute of Applied Physical Problems named after A.N. Sevchenko” of the Belarusian State University
tel.: 8-10-375-17-212-47-45
E-mail: estellita@mail.ru

25.00.12
УДК 550.814:528.71

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Лапта Д.В.,
Харченко В.М.

Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Ставрополь, Россия
kafgog@ncfu.ru

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМОСЪЕМКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВЕЛИЧАЕВСКО-КОЛОДЕЗНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Введение: в капиталоемкой цепочке поиск месторождения, его разведка, добыча, переработка, огромное поле для инновационных технологий. Важная роль принадлежит энергетическим ресурсам — нефти и газу. Россия в их добыче, транспортировке — одна из ведущих стран мира. Одними из наиболее эффективных решений для получения информации о нефтегазоносности месторождения является анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в виду того, что месторождения расположены на площадях, измеряемых сотнями квадратных километров, зачастую в труднодоступных местах.

Материалы и методы исследований: теоретической основой принята ротационная концепция тектогенеза. А составные части представлены наиболее известной флюидодинамической моделью Б.А. Соколова, малоизвестной геосолитонной концепцией Р.М. Бембеля и концепцией природы структур центрального типа (СЦТ) В.М. Харченко.

Результаты исследований и их обсуждение: на изучаемой территории выявлены участки с наложениями зон растяжения, (то есть наложение СЦТ одинакового или различного ранга), что образует зону интерференции с максимальной возможностью проницаемости флюидов. Данные участки наиболее перспективны для формирования приразломных ловушек различного типа, что и подтверждается бурением скважин, а именно, скважины, находящиеся в пределах выделенного участка вблизи узловой точки, имеют максимальные дебиты и вскрывают, как правило, разрез с максимальным насыщением коллекторов и количеством этажей нефтегазоносности. В отдельных случаях это подтверждается бурением скважин и сейсмическими исследованиями на Величаевско-Колодезной площади Восточного Предкавказья. Следует особо отметить, что ни одна из пробуренных скважин не попала в узловую точку и не вскрыла естественно пласт и зону субвертикальной деструкции, где должны быть максимальные дебиты.

Выводы: в результате проведенных исследований выявлено, что продуктивность эксплуатационных скважин пространственно связана с зонами субвертикальной деструкции и участкам наложения СЦТ различного размера, выделяемые как по сейсмическим данным, так и по результатам дешифрирования космических снимков различного масштаба.

Ключевые слова: космическая съёмка, дешифрирование космических снимков, линеаменты, структуры центрального типа (СЦТ), интерпретация СЦТ, зоны разряжения, зоны сжатия, геодинамические центры, узловые точки, зоны субвертикальной деструкции, залежи углеводородов, флюидодинамическая модель, закон скалывающих напряжений, геолого-тектоническая модель.

Innovative Technologies for Using Satellite Imagery to Assess the Oil and Gas Potential of the Velichaevsko-Kolodeznoye Field

LaptaD.V., Kharchenko V.M. North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia
kafgog@ncfu.ru

Introduction: in the capital-intensive chain, the search for a field, its exploration, production, processing, is a huge field for innovative technologies. An important role belongs to energy resources-oil and gas. Russia is one of the world's leading countries in their production and transportation.
One of the most effective solutions for obtaining information about the oil and gas content of a field is the analysis of remote sensing data, since the fields are located on areas measured in hundreds of square kilometers, often in hard-to-reach places.

Materials and methods of the research: the theoretical basis is the rotational concept of tectogenesis. And the components are represented by the most famous fluidodynamic model of B. A. Sokolov, the little-known geosoliton concept of R.M. Bembel and the concept of the nature of Central type structures (STC) of V.M. Kharchenko.
The results of the study and their discussion: on the studied territory, areas with overlays of stretching zones (i.e., the overlap of stcts of the same or different rank) were identified, which forms an interference zone with the maximum possibility of fluid permeability. These areas are the most promising for the formation of brittle traps of various types, which is confirmed by drilling wells, namely, wells located within the selected area near the nodal point have maximum flow rates and open, as a rule, a section with the maximum saturation of reservoirs and the number of floors of oil and gas content. In some cases, this is confirmed by drilling wells and seismic studies on Velichaevskoe-Kolodeznaya square of the Eastern Caucasus. It should be particularly noted that none of the wells drilled hit the nodal point and did not naturally open the formation and the zone of sub-vertical destruction, where the maximum flow rates should be.

Conclusions: as a result of the conducted research, it was revealed that the productivity of production wells is spatially related to the zones of sub-vertical destruction and overlapping areas of various sizes of SCT, allocated both from seismic data and from the results of decoding satellite images of various scales.

Keywords: space survey, interpretation of satellite images, lineaments, Central type structures (STC), STC interpretation, discharge zones, compression zones, geodynamic centers, nodal points, zones of sub-vertical destruction, hydrocarbon deposits, fluidodynamic model, law of chipping stresses, geological and tectonic model.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой в современных условиях энергетической напряженности является совершенствование методов прогноза нефтегазоносности структурных ловушек, вводимых в поисковое бурение. Это связано как со стоимостью поискового бурения, уже

доходящего до сотен миллионов рублей за одну скважину глубиной 4000–4500 м, так и с исчерпанием простых, крупных и средних по размерам локальных поднятий, что определяет необходимость выявления более сложных и глубоко залегающих ловушек нефти и газа.

Россия лучше многих умеет находить и добывать природные ресурсы, являющиеся основой цивилизованного развития человеческого общества. А между тем найти месторождение нефти и газа в бескрайних болотах Западной Сибири, в древнейших породах Восточной Сибири или в акватории Баренцева и Карского морей довольно сложно.

При этом становится ясно, что необходимо внедрять инновационные технологии, в первую очередь, в ресурсодобывающей и ресурсоперерабатывающей отраслях.

В последние десятилетия мы не слышим об открытии нефтяных и газовых месторождений хотя бы отдаленно по своим масштабам напоминающих Самотлор, Уренгой, Бованенковское, Ванкорское. Начальные запасы, по информации отдельных специалистов, выработаны на 50%. Большинство крупных месторождений находятся в стадии падающей добычи. Обводнение добывающих скважин в среднем по России составляет 82%. В целом по стране резко упал среднесуточный дебит добывающей скважины. При таком положении дел может в ближайшие годы произойти падение добычи углеводородов.

Выход из этого сложного положения может обеспечить только открытие в самые короткие сроки крупных, или хотя бы средних по запасам месторождений нефти и газа.

Решить эту задачу быстро при имеющихся финансовых ресурсах с помощью традиционной сейсмики, используемой для подготовки перспективных объектов для обнаружения месторождений нефти и газа, не возможно.

Необходимы новые, прорывные, инновационные технологии по выявлению месторождений углеводородов, которые должны прийти на помощь традиционным методам.

В настоящее время при поисках, разведки и разработки месторождений нефти и газа приоритет отдан, в первую очередь, сейсмическим работам, как правило, без применения известного давно структурно-геоморфологического и сравнительно дешёвого дистанционного (с использованием космических снимков) методов. Поэтому, в настоящее время, в условиях конкуренции и экономического кризиса, является актуальным новый подход с интерпретацией СЦТ и разработка в принципе новой технологии наиболее эффективных и оперативных поисков, разведки, разработки нефтяных и газовых месторождений особенно в труднодоступных районах. Таким образом, актуальность оперативных поисков, разведки и разработки месторождений полезных ис-

копаемых (МПИ) на основе использования современной разномасштабной космической сьемки вполне очевидна, но требуется достаточно убедительно это показать на примерах конкретных территорий.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса играет важную роль при прогнозе нефтегазоносносности осадочных бассейнов древних платформ. В результате структурно-тектонической интерпретации космических снимков (КС) в совокупности с геолого-геофизическими данными достигается возможность космоструктурного картирования нефтегазоносных районов с целью прогнозирования нефтеперспективных структур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ротационная концепция тектогенеза

Комплексность решения вопроса тектогенеза состоит в последовательности и логической согласованности основных фундаментальных особенностей Земли и планет земной группы: вращении и колебательных движений, дифференциация вещества по плотности и его инверсия, конвекция и спиральная циркуляция вещества, цикличность и нелинейность геологических процессов. Следствием проявления эти особенностей являются: ротационная тектоника, плюмтектоника, ринг и блоктектоника. Ротационные процессы в геологии позволяют наиболее объективно оценить роль экзогенных факторов в тектогенезе Земли и планет Земной группы.

При дифференциации вещества, как в результате ротации Земли, так и при выделении тепла в процессе радиоактивного распада, очевидна конвекция вещества, т.е. подъём более лёгкого вещества к поверхности и опускании «менее горячего» более плотного вещества в обратном направлении. Движения вещества в неоднородной среде, в мантии и даже в земной коре происходит по спиралевидной траектории (согласно уравнению Бернулли). Основные направления движения вещества по спиралевидной траектории, по нашим представлениям, согласуются с осями симметрии куба или октаэдра, что подтверждается наличием постоянных зон тектонической активизации в определённых точках поверхности Земного шара. По данным Ван Баммелена (1966), Ю.М. Пущаровского и др. (1989), Е.Е. Милановского (1991), зоны восходящих магматических расплавов или флюидов приурочиваются к центральным частям Атлантического, Индийского и Тихого океанов. Такие же зоны восходящих и нисходящих потоков флюидов вероятны в Антарктиде и на Северном Ледовитом океане, что согласуется с выделенными геодинамическими центрами первого порядка, которые являются соответственно центрами СЦТ.

Таким образом, при движении флюидов к земной поверхности происходит диссипация энергии на границах геолого-геофизических сред, причём закономерно в двух направлениях, согласно основным направлениям полей тектонических напряжений – вертикально вверх (нормальное напряжение) и под углом 45° (максимальное касательное напряжение). В результате вращения Земли и изменению ее скорости, разрядки или постоянного действия этих напряжений при магматическом диапиризме, на земной поверхности образуются (согласно теории Эйлера (1877)) линейные и дугообразные трансформные разломы большой протяженности (тысячи км), которые в целом формируют радиально-концентрические структуры центрального типа или кольцевые структуры глобального плана, представляя модель в виде «разбитой тарелки».

В основе тектогенеза лежит ротационная геотектоника, которая порождает плюмтектонику, а следствием последней является ринг- и блоктектоника.

Флюидодинамическая модель Б.А. Соколова

Флюидодинамическая гипотеза нефтеобразования развивает идеи, появившиеся в некоторых НГБ (И.М. Губкин, 1920–1940 гг.), опиравшемся на общность геологического строения отдельных территорий, и в дальнейшем переросшем в общее бассейновое направление (И.О. Брод, Н.Б. Вассоевич, В. Е. Хаин, И. В. Высоцкий, 1950–1960 гг.), которое подробно рассматривало историю формирования очагов генерации УВ.

Гипотеза возникла во второй четверти XX века и базируется на способности осадочных пород расслаиваться в процессе литогенеза на зоны уплотнения и разуплотнения. По мере развития бассейнов образуются насыщенные флюидами зоны разуплотнения, которые находятся в условиях повышенного давления, и, вследствие этого, создается флюидодинамическая система.

Большую роль в развитии флюидодинамической концепции нефтеобразования сыграли идеи о саморазвитии и самоорганизации открытых неравновесных систем, разрабатываемых И.Р. Пригожиным, а применительно к геологии Ю.М. Пущаровским. Наиболее полно флюидодинамическую модель описал Б.А. Соколов [10]. Идеи Пущаровского выражаются в трех положениях:

1. Установление закона вертикальной тектонико-петрологической расслоенности литосферы и верхней мантии (зоны уплотнения и разуплотнения);
2. Разуплотненные зоны представляют собой вместилища природных породных растворов и расплавов (ППРР);

3. Флюиды, насыщающие зоны разуплотнения, при нагреве значительно повышают внутреннее давление и за счет этого расширяются;

Последнее приводит к созданию своего рода гидравлической подушки, которая приподнимает и/или прорывает вышележащие слои.

В итоге возникает неравновесная и неустойчивая система, позволяющая, с одной стороны, перемещаться отдельным блокам земной коры относительно друг друга в вертикальном и горизонтальном направлениях, а с другой -- за счет прорыва флюидов осуществлять тепломассоперенос из глубоких частей Земли в ее верхние горизонты (рис. 1).

Флюидодинамическая модель предоставляет возможность роста оценки генерационного потенциала нефтематеринских толщ каждого энергетического уровня за счет влияния флюидных потоков из нижележащих горизонтов.

Геосолитонная концепция Р.М. Бембеля

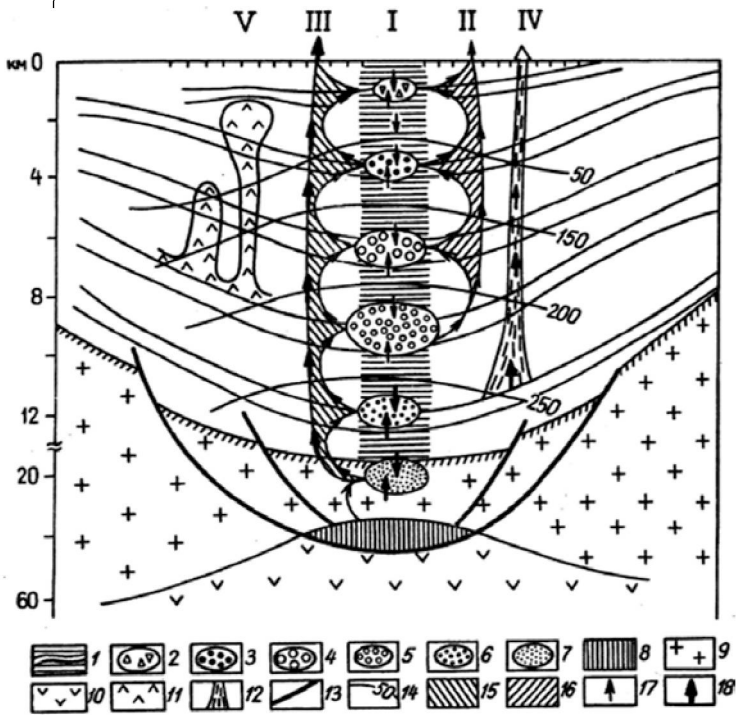
Роберт Михайлович Бембель — профессор кафедры «Разведочная геофизика» ТюмГНГУ, доктор геолого-минералогических наук. В своей научной концепции о геосолитонах и функциональной системе Земли он излагает новый взгляд на происхождение и формирование залежей полезных ископаемых [1].

Спор о происхождении нефти относится к числу «великих геологических споров», который остается все еще не завершенным. Существуют две традиционные гипотезы. Одна утверждает, что нефть образована органическим путем из остатков растений и животных, живших миллионы лет назад. Вторая доказывает неорганическое происхождение нефти. Сторонники той и другой гипотез говорят о невозможности восстановления извлекаемых запасов углеводородов.

Решение, которое предлагает профессор Роберт Бембель, не противопоставляет, а взаимно объединяет и дополняет все современные теории: для образования нефти необходимо и органическое вещество, и неорганическое. Основными элементами являются водород и неистощимая, движущаяся из ядра к поверхности энергия Земли. Вследствие этого, все месторождения полезных ископаемых, в том числе и нефтегазовые, могут восстанавливать свои природные запасы.

Бембель Р.М. рассматривает в своих работах единый геосолитонный механизм формирования месторождений разных типов.

Общим для всех типов месторождений является наличие специфических «корней», уходящих от каждого из них глубоко в недра, пересекающих отложения платформенного чехла и теряющихся на гео-



1 – осадочный разрез в зонах погружения (I);
2–7 – флюидонасыщенные зоны разуплотнения (2 – нефтегазовая, 3 – ГЗН, 4 – ГЗГ, 5 – термального газа, 6 – кислых газов, 7 – газорудная);
8 – астеносфера,
9 – земная кора,
10 – верхняя мантия,
11 – соляные купола (V);
12 – грязевые диапиры (VI);
13 – листрические нарушения;
14 – изотермы, °С;
15 – перемещение не УВ теплоносителей (III);
16 – перемещение углеводородных потоков (II);
17 – направление движения УВ;
18 – направление движения водноуглекислых флюидов.

1 – sedimentary section in immersion zones (I), 2–7 – fluid-saturated decompression zones (2 – oil and gas, 3 – GZN, 4 – GZG, 5 – thermal gas, 6 acid gases, 7 – gas); 8 – asthenosphere, 9 – crust, 10 – upper mantle, 11 – salt domes (V); 12 – mud diapirs (VI); 13 – listric violations; 14 – isotherms, oC; 15 – movement of non-hydrocarbon coolants (III); 16 – movement of hydrocarbon streams (II); 17 – the direction of movement of the hydrocarbon; 18 – the direction of movement of water-carbonic fluids.

Рис. 1. **Флюидодинамическая модель нефтеобразования (Соколов Б.А, 1999).**

Fig. 1. Fluidodynamic model of oil formation (Sokolov B.A., 1999).

физических материалах где-то в районе фундамента. Общим принципом для всех этих месторождений является то, что главным поставщиком «строительного материала» для углеводородов являются внутренние геосферы Земли, т.е. ядро, мантия и нижние слои земной коры.

В своей работе Бембель описывает разные типы залежей и свойственные им геосолитоны. Повышенный интерес автор проявляет к малоразмерным амплитудным ловушкам. Подобные размеры ловушек сегодня становятся интересны для промышленных целей, т.к. запасы УВ в этих месторождениях определяются не столько поперечными размерами отдельных залежей, сколько их глубинными связями с нижележащими геосферами.

Геосолитоны — это частицеподобные волны квантовой природы (излучения), непрерывно рождающиеся в ядре планеты, объединяющиеся в потоки и стремящиеся к выходу в космическое пространство, как лучи Солнца.

По мнению Бембеля формирование месторождений связанное с геосолитонами происходит следующим образом:

Порождаясь в ядре Земли, геосолитоны начинают свое движение вихревыми спиралеобразными потоками, не имеющими четкого направления, но стремящимися выйти в атмосферу. Приближаясь к выходу из геосферы, они ориентируются строго вертикально к поверхности, образуя «столбы» движущихся потоков энергии.

Формирование вертикальных геосолитонных «трубок» может начинаться с глубин в 30 км от поверхности и выше, что показывают результаты геофизических исследований. В пределах диаметра мощных «трубок» (100–200 м) в миллион раз увеличиваются скорости всех физических и химических процессов, по сравнению с остальным геологическим пространством. Возникающие физико-химические процессы органических и неорганических соединений в районе таких вертикальных потоков глубинной энергии способствуют ускорению образования различных полезных ископаемых. Начиная свое формирование в зоне вертикальной «трубки», масса рожденного вещества (в частности, нефти, газа и воды) под высоким давлением непрерывно двигающейся энергии геосолитонов «растекается» горизонтально по трещинам и порам.

Тонкая система микротрещин в геологических породах обеспечивает прохождение по «трубкам» наиболее летучих газов из глубоких геосфер, в частности, протонного газа. Высокая температура и повышенное содержание водорода на пути геосолитонов создает благоприятные условия для образования углеводородов. Иногда образуются целые «гирлянды» нефтегазовых месторождений, нанизанных на «трубки». Кроме того, залежи на такой «трубке» могут отличаться по типу

химического вещества. Глубоко внизу — алмазы, золото, платина, а над ними, в осадочных породах — месторождения нефти и газа.

Концепция природы структур центрального типа (СЦТ)

Структуры центрального типа (СЦТ) являются результатом как импульсной так и постоянно действующих нормальных и максимальных касательных древних, новейших и современных тектонических напряжений, связанных с процессами магматического, соляного, глинистого и нефтяного диапиризма в условиях пульсации и неравномерного вращения Земли вокруг своей оси, Солнца и центра Галактики. Представляется конкретная схема образования как «структурных линий», образующих структуры центрального типа, так и линеаментов, которые имеют различное пространственное соотношение с СЦТ.

По нашим представлениям, многочисленные «структурные линии» или концентрические тектонические нарушения, являются результатом разрядки максимальных касательных напряжений из одного энергогенерирующего центра, который приурочен к центру максимальной структуры центрального типа, выделенной в пределах региона, диагностирующегося по рисункам гидросети или узлам пересечения линеаментов. Глубина до главного энергогенерирующего центра, согласно правилу распространения нормальных и максимальных касательных тектонических напряжений, а также закону скалывающих напряжений, равна радиусу максимальной структуры центрального типа в пределах региона [13].

Центры структур центрального типа меньшего ранга являются местами накопления энергии в различных по физическим свойствам сравнительно упругих и плотных слоях земной коры или мантии при диссипации энергии главного очага. При достижении предела прочности этих слоев, наступает деформация их с действием волн напряжений в двух направлениях: строго вертикально (создавая нормальное напряжение) и под углом 45^0 (максимальные касательные напряжение), согласно закону скалывающих напряжений. Таким образом, волны напряжений, встречая на своем пути сравнительно плотные и упругие среды, преломляются в них в двух направлениях. В результате напряжений в слоях происходит их деформация и образование, как трещин отрыва, так и трещин скалывания. Согласно данным М.В. Гзовского (1975), параллельно направлению действия напряжений образуются трещины скалывания только в глинистых породах, в других породах направление осей трещин несколько отличается от направления напряжений. Основные деформации будут наблюдаться в основном на гра-

нице сред (в местах действия стоячих волн). В пластичных средах (соли) волны напряжений или сейсмические волны, как известно, будут затухать или значительно ослабевать. При подходе этих волн напряжений к поверхности земли, где отмечается резкая смена сред, будет наблюдаться деформация поверхности (т.е. растрескивание пород, слагающих поверхность).

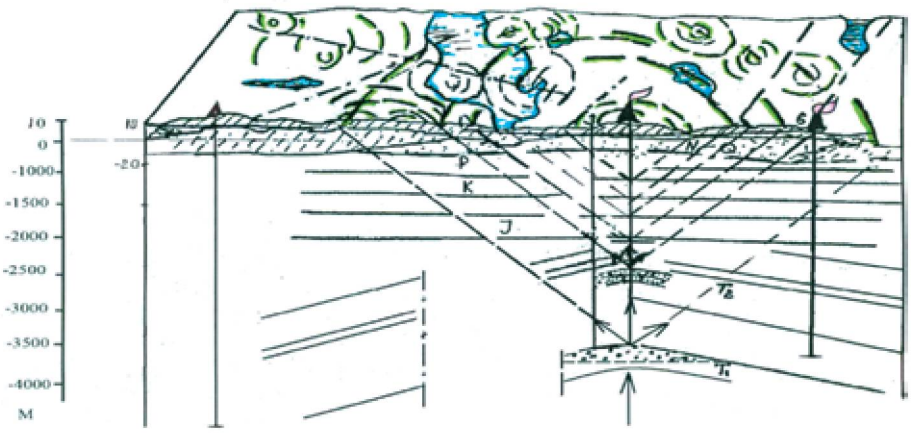
Из вышеописанных представлений о характере распространения нормальных и максимальных касательных напряжений вытекает вывод об очень простой зависимости между размером радиусов кольцевых структур (или вернее концентров-дуг) и глубиной до упругих и сравнительно плотных сред. Эта зависимость выражается элементарной формулой $R = f(H)$, которая теоретически подтверждается законом скалывающих напряжений и представлениям М.В. Гзовского о распространении максимальных касательных напряжений под углом 45° по отношению к нормальным напряжениям, статистическими данными Г.И. Худякова, Б.В. Ежова (1999), расчётами А.И. Петрова (1968) и исследованиями Е.А. Мясникова (2004) и, наконец, результатами геофизики и бурения скважин на нефть и газ на территории Калмыкии (Нурин-Хагская, Касаткинская и Северо-Шаджинская площади) (рис. 2).

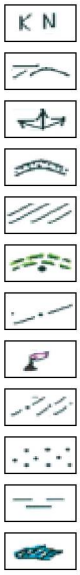
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенная технология основывается на известной концепции СЦТ (структур центрального типа), где впервые представляется метод их интерпретации с выделением геодинамических центров, зон сжатия и растяжения, участков их интерференции или наложения и узловые точки или зоны субвертикальной деструкции.

На первом этапе исследований, выявляется по методу от частного к общему контур известного месторождения и наличие пробуренных скважин или горных выработок, которые на крупномасштабных космоснимках отображены, как правило, светлыми точками или пятнами на любом фоне с радиальными или своеобразными лучами прямых линий (подъездных путей).

В пределах контура месторождения в результате дешифрирования космического снимка выделяются антропогенные и оконтуривающие месторождения природные объекты, в частности тектонические нарушения – линеаменты и дуги-концентры или кольцевые структуры. К природным объектам относятся практически все ландшафтные элементы: почвы, растительность, элементы рельефа, гидросеть, озёра, болота, литологическая основа – коренные горные породы, современ-





возраст пород;

геолого-сейсмические горизонты;

распределение нормальных и касательных напряжений;

песчаники газонасыщенные;

суглинки покровные;

дуги-концентры;

тектонические нарушения, линеаменты;

скважины;

супеси;

пески;

глины;

саги (глинистые поверхности).

1 – age of rocks; 2 – geological-seismic horizons; 3 – distribution of normal and shear stresses; 4 gas saturated sandstones; 5 – cover loams; 6 – arc concentrates; 7 – tectonic disturbances, lineaments; 8 – wells; 9 – sandy loam; 10 – sands; 11 – clay; 12 sagas, (clay surfaces).

Рис. 2. **Факт соответствия радиусов структуры центрального типа глубинам до отражающих сейсмических горизонтов и их перегибов в центральной части (Касаткинская площадь в Калмыкии) Харченко В.М. 2012 г.**

Fig. 2. The fact of the correspondence of the radii of the central type structure to the depths to the reflecting seismic horizons and their bends in the central part (Kasatkinskaya area in Kalmykia) Harchenko V.M. 2012.

ные четвертичные отложения, физико-геологические процессы (заболачивание, засоление, эрозионные, просадочные, креогенные, оползневые, эоловые и т.д.). По существу используется, известный в ландшафтоведении, метод ключевых участков с выделением и изучением природно-территориальных комплексов (ПТК) различного ранга с составлением крупномасштабной ландшафтно-геоэкологической карты, по которой в принципе диагностируется достоверность СЦТ и линеаментов различного ранга. При расширении площади исследования за пределы выделенного месторождения, осуществляется ландшафтно-геоморфологическая привязка месторождения, т.е. приуроченности его к вполне определённым элементам ландшафта.

На этом же этапе делается попытка получить конкретный фотопортрет исследуемого месторождения с характерной структурой и текстурой фотоизображения, с аномальными точками, участками или даже зонами, которые в дальнейшем интерпретируются на предмет выявления рудных и нефтегазовых залежей. На предмет рудоносности такой подход является довольно эффективным, так как часто фотоаномалии приурочиваются к геохимическим аномалиям, связанным с рудными узлами, которые методом аналогии переносятся на другие соседние или сходные по геолого-тектоническому строению территории. Что касается нефтегазовых залежей, то они приурочиваются, как правило, к местам наложения кольцевых структур или СЦТ и также к узловым точкам или зонам субвертикальной деструкциии [13; 14; 15]. Конкретного фотопортрета месторождения нефти или газа получить никому не удалось, так как прямых дешифровочных признаков для них, вероятно, не существует, поэтому их обнаружение требует несколько других методов, т.е. выявления косвенных дешифровочных признаков и разработки специальных теоретических представлений для их интерпретации. Таким дешифровочным признаком в какой то мере оказались структуры центрального типа и линеаменты, образующие в совокупности форму «разбитой тарелки» и участки их интерференции или наложения, которые, как правило, приурочиваются ко всем известным месторождениям нефти и газа практически во всех природных условиях как континентов так и океанов. Это было подтверждено автором данной работы при выполнении в 80-х годах прошлого века научно-производственной работы в тресте «Калмнефтегазразведка» на тему «Обобщение аэрокосмических и геолого-геофизических материалов с целью выявления залежей нефти и газа на территории Калмыцкой АССР». На протяжении последних десятилетий, многочисленные научные исследования по использованию аэрокосмической сьемки для получения конкретного фотопортрета нефтегазовых ловушек также приходили к выводам об отсутствия их прямых дешифровочных признаков. Но, не-

изменно подтверждали, что к ним приурочиваются линеаменты и дуговые контуры, которые представляют собой кольцевые структуры или структуры центрального типа. В пределах их контуров, как правило, и приурочиваются рудо- и нефтегазовые залежи. Это доказано автором в указанной выше работе в тресте «Калмнефтегазразвека», в работах В.Д. Скарятина (1985 г.) [10; 11], в известных последних публикациях по Калининградской области, а также данные Л.В. Милосердовой и др. по приуроченности кольцевых структур к известным месторождениям УВ в России и за рубежом. Объяснение такого феномена было сделано в работах автора и других исследователей [4, 8; 10; 15].

Второй этап данных исследований по выявлению залежей УВ основывается на освоении теоретических основ концепции СЦТ и заключается в картировании и достоверном выделении линеаментов и СЦТ по дуговым концентрам различных радиусов, начиная с крупного масштаба в контурах известного месторождения, постепенно увеличивая площадь исследования, изменяя масштабы сьемок в 2–3 и более раз в зависимости от информативности и необходимости генерализации выделяемых объектов (СЦТ).

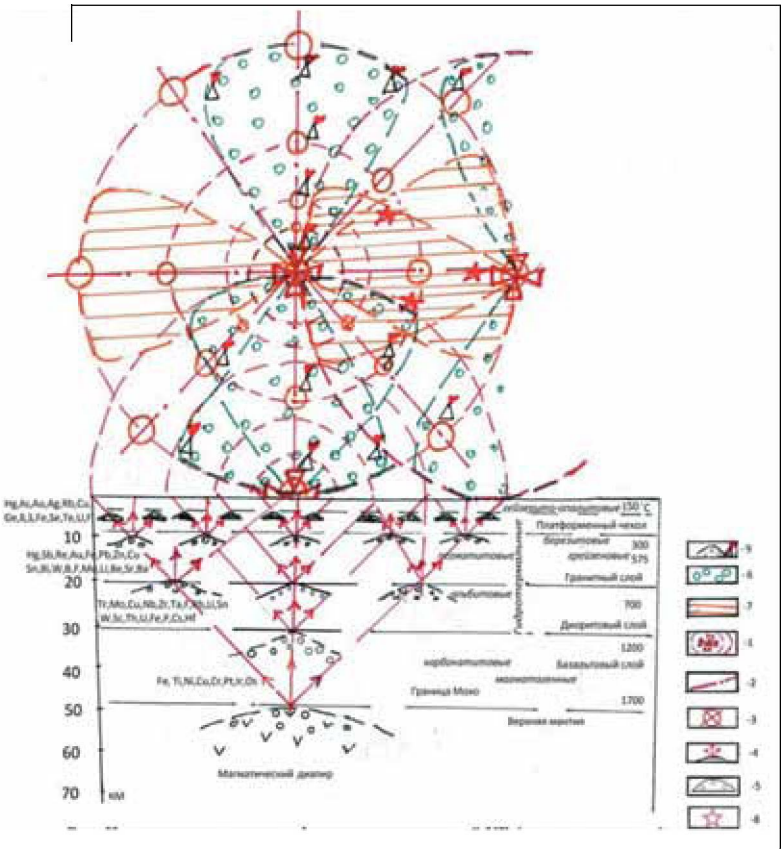
Следует особо отметить, что в первую очередь на уже больших территориях выделяются подобные СЦТ и линеаменты характерные для конкретного месторождения с вполне определенным радиусом СЦТ. По существу мы выявляем новые месторождения, подобные уже известному и хорошо изученному месторождению в пределах нефтегазоносного района, области или даже провинции. Далее на обзорной территории (области или провинции) выделяются СЦТ самых максимальных радиусов и, заканчивая минимальными, которые возможно диагностировать в этом масштабе сьемки, составляя специальную таблицу радиусов, где указываются по порядку не только размеры радиусов, но и количество СЦТ одинаковых радиусов. Особо выделяются СЦТ, характерные для известного месторождения и СЦТ максимального размера, которые интерпретируются как центр нефтегазообразования, в контур которой попадает «базовая» СЦТ известного месторождения.

Третий этап исследования заключается в интерпретации СЦТ различного размера и построения геолого-тектонической и флюидодинамической моделей. Под интерпретацией СЦТ понимается выделение в плане и разрезе геологических тел или их сочетания с благоприятными условиями для образования, миграции и сохранения рудных и углеводородных залежей. Это в первую очередь по дугам-концентрам определяются геодинамические центры, далее по аналогии с моделью очага землетрясения выделяются зоны растяжения и сжатия и участки их интерференции и, наконец, узловые точки – зоны пересечения

линеаментов и дуг-концентров СЦТ различных размеров. На основании данных по размерам радиусов различного размера, по вполне определенной линии (проведенной через центр максимальной СЦТ и по возможности через центры СЦТ всех радиусов в пределах территории месторождения), строится геолого-тектонический разрез на глубину максимального радиуса СЦТ с выделением вероятных рудных узлов и ловушек нефти и газа (рис. 3).

Предлагаемая модель согласуется с известными теоретическими флюидодинамическими моделями Б.А. Соколова, Ф.А. Алексеева и др., миксгенетической теорией В.П. Гаврилова, полигенетической концепцией А.Н. Дмитриевского и фактически является их практическим воплощением на любой конкретной территории.

Концепция образования структур центрального типа объясняет формирование залежей УВ под действием тектонических напряжений на флюидодинамические системы, которые представляют собой глубинные флюидопроводящие структуры различного ранга, контролирующие размещение как углеводородные так и рудные месторождения и обуславливавшие формирование геофизических и геохимических аномалий над залежами УВ и рудными телами. Проницаемые зоны развиваются в соответствии с действием тектонических напряжений и распространением трещинноватости и разломов, фиксируются в геофизических и геохимических полях, благодаря миграции по ним флюидов и развитию наложенной минерализации (рис. 3). Суть концепции нефтегазоносности СЦТ заключается в том, что благодаря ротационному тектогенезу, от глубинных энергетических источников (плюмов), расположенных ниже границы Мохо, происходит восходящая миграция соединений углерода и водорода по субвертикальным тектонически ослабленным проницаемым зонам. Эти зоны характеризуются пониженной плотностью по отношению к вмещающим их породам, что обуславливает локальные отрицательные аномалии силы тяжести. Субвертикальные каналы восходящей миграции (согласно закону скалывающих напряжений), сопровождаются оперяющими разломами близкими и под углом 45° (в глинистых породах, М.В. Гзовский, 1975). При этом формируются тектономагматические структуры центрального типа различного размера (модель «разбитой тарелки»). Воронкообразные структуры центрального типа являются зонами повышенной флюидопроводимости, сложены аномалиеобразующими телами, верхние кромки которых расположены в платформенном чехле или фундаменте, а нижние кромки – вблизи или ниже изотермической поверхности формирования флюидов УВ (300–400) (Ф.А. Алексеев и др., 2000). Достижение нижней кромкой воронки изотерм формирования флюидов УВ может указывать на возможность скопления УВ в выше-



1 – геодинамические центры СЦТ и их контуры;
2 – линеаменты или тектонические нарушения;
3 – субвертикальные зоны деструкции;
4 – флюидопотоки и пути их миграции согласно распределению тектонических напряжений;
5 – залежи УВ в зоне катагенеза;
6 – зона растяжения;
7 – зона сжатия;
8 – возможные очаги землетрясения;
9 – залежи УВ в зоне субвертикальной деструкции.

(Согласно Ф.А Алексееву, 1978; О.Ю. Баталина, 2010; В.М. Харченко, 2012)

Рис. 3. **Концептуальная модель формирования рудных и УВ залежей (в плане и разрезе).**
Fig. 3. A conceptual model of the formation of ore and hydrocarbon deposits (in plan and section).

лежащих породах при наличии коллекторов и покрышек. При температуре 100–150°, на глубинах до 5 км благоприятной для формирования залежей, возможно и их образование также за счет диагенетического преобразования осадков. Таким образом, возможно образование залежей УВ двояким путем: за счет глубинного прогрева осадков и подтока флюидов снизу, и путем преобразования органики в осадочной толще также за счет прогрева снизу. Такая схема образования и формирования УВ может объяснить возобновления запасов на разрабатываемых месторождениях и формирование залежей не только в осадочных толщах, но и в кристаллических породах фундамента. «Елочные» или воронкообразные структуры в разрезе и СЦТ в плане в форме «разбитой тарелки», образованные путем действия нормальных и максимальных касательных напряжений и подтверждаемые магнитными, гравитационными и геохимическими аномалиями, могут являться надежными поисковыми признаками залежей УВ. Наиболее перспективными на предмет нефти и газа являются СЦТ с минимальными градиентами скоростей вертикальных движений размером по радиусу соответственно 1–5, 5–10 км, зоны их растяжения и узловые точки (места пересечения тектонических разломов).

Как известно, в геологической практике проводится интерпретация при обработке различных геофизических и геохимических материалов, в данной работе впервые представляется метод интерпретации СЦТ и линеаментов различного ранга с построением конкретной геолого-тектонической или флюидодинамической модели любого месторождения.

Для проведения и понимания сути интерпретации СЦТ необходимо как минимум иметь знания и надежные представления:

1) о симметрии в природе в целом и центральной симметрии в частности;
2) о симметрии колебательных движений;
3) о закономерностях распространения тектонических напряжений и законе скалывающих напряжений, о локальных и региональных очагах землетрясений и модели очага землетрясения;
4) о геометрической сейсмике;
5) о концепции структур центрального типа.

Для подтверждения предложенной технологии оперативных поисков, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, в частности нефти и газа, приводится наглядный пример сопоставления традиционных данных сейсморазведки и бурения с результатами дешифрирования космического снимка и интерпретации

СЦТ и линеаментов по Величаевско-Колодезному месторождению газа Восточного Предкавказья.

Величаевско-Колодезное месторождение открыто в 1956 году, введено в разработку в 1957 году. Нефтегазоносность месторождения характеризуется широким стратиграфическим диапазоном продуктивности: залежи нефти открыты в I, IV, V, VI, VIII, IX, X пластах нижнемеловых отложений, VII пласте нижнеюрских отложений, а также в нефтекумской свите нижнего триаса. К настоящему времени на месторождении добыто 96% извлекаемых запасов. Рассматривается наиболее охваченный разработкой VIII пласт нижнего мела. Стандартная карта разработки дает слабое представление о распределении добычи по площади, оно в принципе кажется равномерным.

С целью большей наглядности можно разделить накопленную добычу в скважинах на 3 класса: скважины с низкой добычей менее 20 у.е.(зеленые), средней добычей 20–200 у.е. (синие) и высокой добычей свыше 200 у.е. (красные) (рису. 4). На рисунке видно, что если соединить между собой скважины с высокой добычей, то получаются линии северо-западного и северо-восточного направлений.

Можно было бы предположить, что подобная линейность добычи вызвана особой системой разработки. Разделим скважины по вводу в разработку также на три класса: красным 1958–1963 г., синим 1966–1985 г., зеленым 1986–2010 г. Как видно на рисунке 4, ввод скважин можно описать в большей степени «пятнами», чем линиями. Следовательно, линейный характер накопленной добычи, скорее всего, объясняется геологическими, а не техногенными причинами.

Является ли такое линейное распределение добычи случайным или оно присуще всем пластам месторождения?. Что бы ответить на этот вопрос, нами проанализированы другие пласты месторождения, и на всех них можно выделить субширотные и субмеридиональные линейные зоны, в большей или меньшей степени, проявленные в зависимости от количества скважин, участвовавших в разработке пласта.

Чтобы разобраться, какой геологический фактор мог повлиять на линейное распределение добычи, нами рассматривались основные геологические параметры залежи: структурный фактор, нефтенасыщенная толщина, высота над контактом, пористость, нефтенасыщенность, удельные запасы пласта. Можно с уверенностью сказать, что ни один из этих параметров не имеет линейного распределения по площади.

Вместе с тем, похожий рисунок линейных зон можно увидеть на карте Ставропольского края с нанесенными глубинными разломами и схемы линеаментов поверхности этой территории (рис. 5).

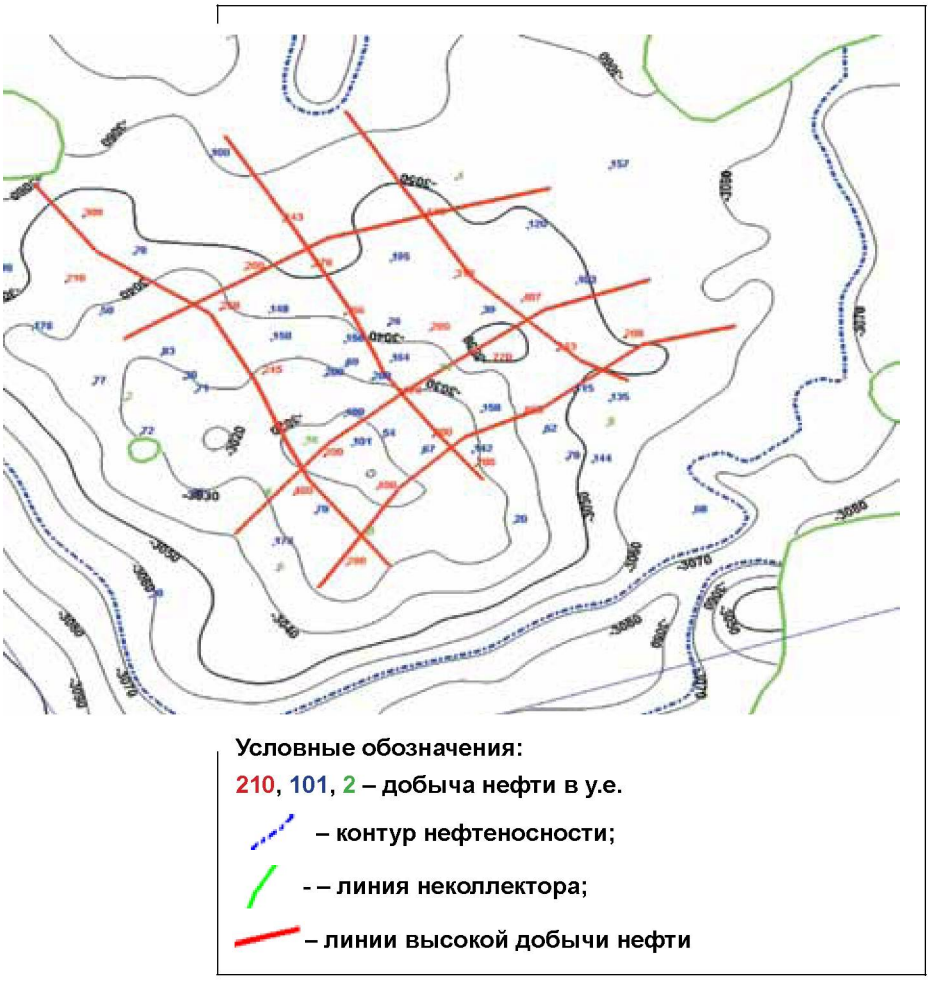
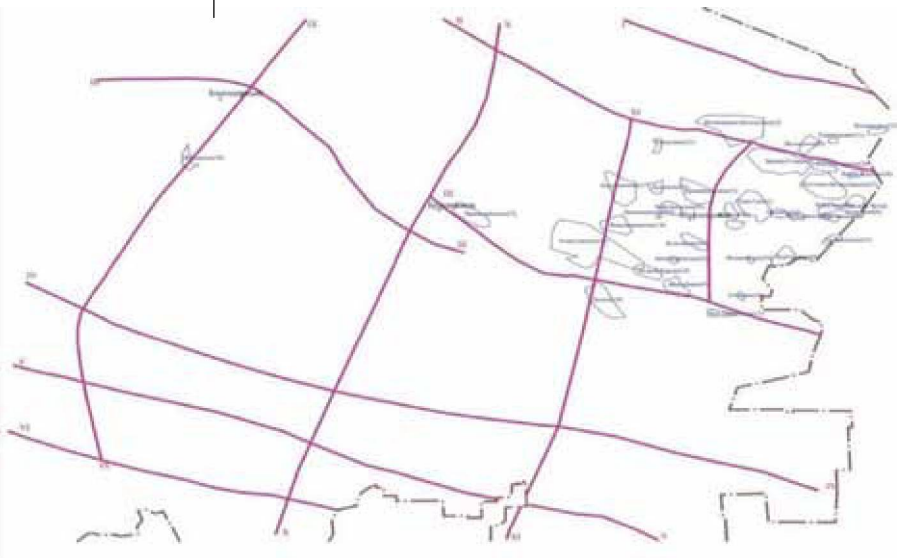


Рис. 4. **Накопленная добыча VIII3 пласта нижнего мела по классам скважин.**
Fig. 4. Cumulative production of the VIII3 Lower Cretaceous reservoir by well classes.

Эти факты позволяют сделать предположение о связи накопленной добычи нефти по скважинам месторождения с тектоническими нарушениями осадочного чехла Величаевско-Колодезного месторождения. Вероятное существование разрывных нарушений на этой территории рассматривалось в работах многих авторов, в частности З.Х. Моллаева, В.В. Доценко и др. Низкоамплитудные разрывные нарушения осадочного чехла могут образовывать линейные структуры, с которыми связаны зоны повышенной трещиноватости и проницаемости. С точки зрения современной планетарной геодинамики субмериди-

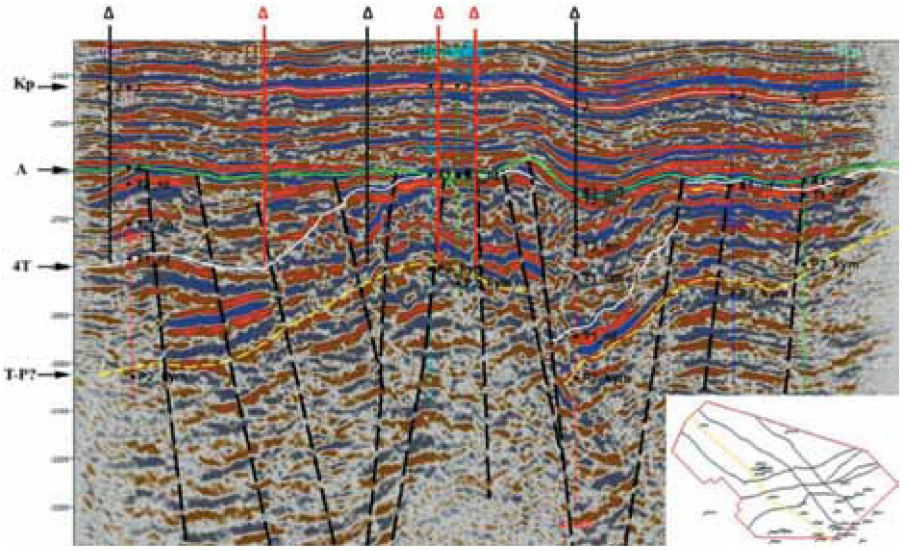


Условные обозначения:
Линейно-тектонические нарушения (разломы) фундамента:

I Центрально-Манычский разлом
II Южно-Манычский разлом
III Предкавказский разлом
IV Надзорненский разлом
V Невинномысско-Терский разлом
VI Черкесский разлом
IX Восточно-Ставропольский разлом
X Георгиевско-Арзгирский разлом
XI Кабардино-Сарпинский разлом
XII Величаевско-Мектебский разлом

Рис. 5. **Схема разломов фундамента.**
Fig. 5. Foundation fault diagram.

ональные разрывные нарушения являются зонами растяжения, а субширотные – зонами сжатия. Узлы пересечения этих зон представляют собой участки, наиболее активные, согласно геодинамическим представлениям (по опыту работ в Западной Сибири, так называемые «геосолитоны» по данным Р.М. Бембеля, 2010), к которым приурочены высокие дебиты нефти, повышенная обводненность скважин, а также их аварийность. Подобные режимы работы скважин вполне возможны и на исследуемом месторождении, конкретно в узловых точках и участках интерференции СЦТ.



Условные обозначения:

Δ– скважины с повышенной добычей нефти,

Δ– другие скважины

– разрывные нарушения

Рис. 6. **Пример выделения разрывных нарушений в нижнем триасе и палеозойском фундаменте на Величаевско-Колодезном месторождении нефти и газа.**

Fig. 6. An example of the identification of explosive faults in the Lower Triassic and the Paleozoic basement at the Velichaevo-Kolodeznoye oil and gas field.

В качестве доказательства возможного наличия разрывных нарушений в осадочном чехле исследуемого месторождения можно отметить, что на временных разрезах 3D сейсморазведки выделяется большое количество разрывных нарушений в фундаменте и в осадочных отложениях нижнего триаса (рис. 6).

Выше по разрезу, в юрских и меловых отложениях, в литологическом описании образцов керна неоднократно встречаются определения «неяснослоистый, трещиноватый» или «трещиноватый, слоистый». На космосмических снимках различного масштаба дневной поверхности также можно увидеть линии субширотного и субмеридионального простирания и точки их пересечения. Каждый из этих фактов

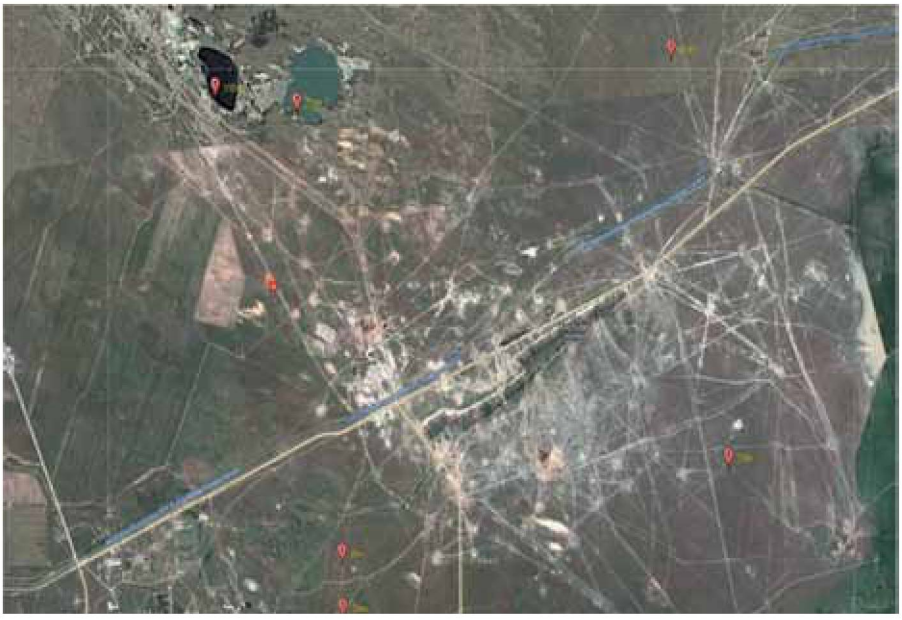


Рис. 7. **Космический снимок крупного масштаба Величаевско-Колодезной площади с характерными белыми точками-пятнами и линиями подъездных дорог-пробуренными буровыми скважинами на нефть и газ.**
Fig. 7. A large-scale satellite image of the Velichaevo-Kolodeznaya area with characteristic white dotted spots and access road lines drilled with oil and gas boreholes.

в будущем требует детального изучения и сопоставления с выявленными нами аномалиями разработки.

Выявленные закономерности особенностей разработки Величаевско-Колодезного месторождения с тектоническими особенностями геологического строения могут быть выявлены в дальнейшем и на других месторождениях Восточного Ставрополья, анализ и обобщение накопленной информации позволит оптимизировать систему разработки этих месторождений.

Согласно изложенной технологии, на первом этапе наших исследований было проведено дешифрирование космического снимка интересующей нас Величаевско-Колодезной площади. В результате чего были выделены структуры центрального типа и их геодинамические

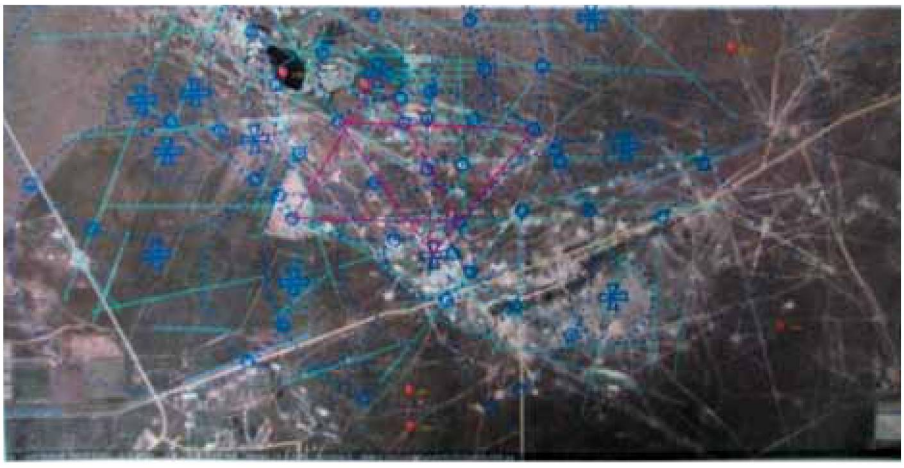


Рис. 8. **Структуры центрального типа и линеаменты,выделенные по различным ландшафтным признакам Величаевско-Колодезной площади и результаты их интерпретации.**
Fig. 8. Central-type structures and lineaments, distinguished by different landscape features of the Velichaevo-Kolodeznaya area and the results of their interpretation.

центры, серия линейных разломов, впервые выполнена интерпретация СЦТ и линеаментов (рис. 7, 8, 9).

В плане нефтегазоносности так и сейсмичности особый интерес представляют центральные и периферические части СЦТ, точки пересечения различных линеаментов или тектонических разломов различного ранга и дуг. Важным для интерпретации геолого-геофизического разреза является то, что радиусы СЦТ в целом и отдельных дуг соответствуют глубинам до границ геолого-геофизических разделов (на сейсмических профилях, они соответствуют, как правило, отражающим горизонтам).

При интерпретации СЦТ особо выделяются зоны сжатия и растяжения и участки их интерференции. В зонах сжатия возникают благоприятные термобарические условия для генерации УВ, которые после своего образования, вероятно, мигрируют в соседние зоны растяжения, и при соответствующих условиях (наличия покрышек) формируют залежи нефти и газа.

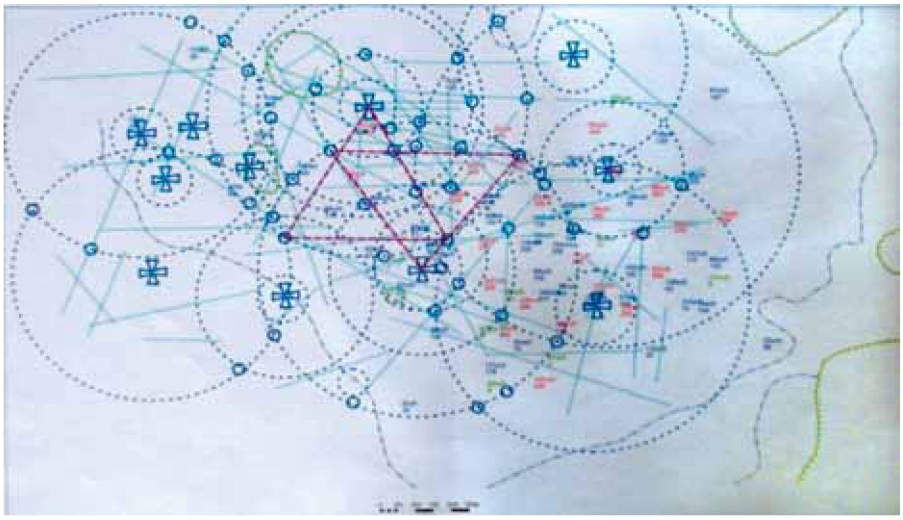


Рис. 9. **Результаты сопоставления данных интерпретации СЦТ и данных эксплуатационного бурения, где отмечается приуроченность нефтегазоносных скважин к зонам растяжения и участкам их интерференции и отсутствие их в узловых точках,где возможны максимальные дебиты скважин.**
Fig. 9. The results of comparing the data from the interpretation of SCT and the data of production drilling, where the confinedness of oil and gas wells to extension zones and areas of their interference and their absence at nodal points where maximum well production rates are possible.

На рисунке 9 показаны участки с наложениями зон растяжения, (то есть наложение СЦТ одинакового или различного ранга), что образует зону интерференции с максимальной возможностью проницаемости флюидов. Данные участки наиболее перспективны для формирования приразломных ловушек различного типа, что и подтверждается бурением скважин, а именно, скважины, находящиеся в пределах выделенного участка вблизи узловой точки, имеют максимальные дебиты и вскрывают, как правило, разрез с максимальным насыщением коллекторов и количеством этажей нефтегазоносности. В отдельных случаях это подтверждается бурением скважин и сейсмическими исследованиями на Колодезно-Величаевской площади Восточного Предкавказья. Следует особо отметить, что ни одна из пробуренных скважин не попала в узловую точку и не вскрыла естественно пласт и зону субвертикальной деструкции, где должны быть максимальные дебиты.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований выявлено, что продуктивность эксплуатационных скважин пространственно связана с зонами субвертикальной деструкции и участкам наложения СЦТ различного размера, выделяемые как по сейсмическим данным, так и по результатам дешифрирования космических снимков различного масштаба.

Важным преимуществом результатов дешифрирования перед сейсмическими данными является экономический аспект. Очевидно, что данные полученные по результатам дешифрирования космических снимков, значительно сокращают затраты на проведение сейсморазведки и бурения скважин.

Рекомендуется при поисках, разведке и разработки месторождений нефти и газа проведение работ по дешифрированию космических снимков с интерпретацией СЦТ и линеаментов перед постановкой сейсмических, геохимических исследований и бурения, с целью получения максимальных дебитов эксплуатационных скважин (при разработке месторождений).

С использованием вышеизложенной технологии оперативных поисков МПИ, в том числе нефти и газа, наступает эра новых открытий не только на неизведанных территориях, но и на давно известных месторождениях, особенно нефти и газа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бембель Р.М., Мегеря В.М., Бембель С.Р. Геосолитоны: функциональная система Земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. Тюмень: Вектор Бук, изд. 2. 2003. 224 с.
2. Гзовский, М.В. Основы тектонофизики / М.В. Гзовский. М.: Наука, 1975. 327 с.
3. Горшков, Г.П. Дизъюнктивная тектоника Копет-Дага и закон скалывающих напряжений / Г.П. Горшков. М.: Вестник МГУ, 1947. №1. С. 103–115.
4. Милосердова, Л.В., Тунг Фи Мань Космические образы месторождений нефти и газа. // Теоретические основы и технология поисков и разведки нефти и газа // №1. 2012. С. 59–62.
5. Нелепов М.В., Логвинова Т.В., Лиховид А.А. Закономерности изменения продуктивности нефтяных скважин Величаевско-Колодезного месторождения // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. №6 (39). С. 54–58.
6. Нелепов М.В., Харченко В.М., Нелепов С.В., Ибрагимова Т.В. Влияние тектонических факторов осадочного чехла на добычу углеводородов в скважинах месторождений Ставрополья // Материалы международной научной конференции. Ставрополь, 2015. С. 70–72.

7. Петров, А.И. О механизме образования структур центрального типа [Текст] / А.И. Петров // Советская геология. М., 1969. №9. С. 139–145.
8. Скарятин В.Д., Атанасян С.В. Кольцевые структуры Предкавказья // Тезисы докладов VI Краевой конференции по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа. Ессентуки, 1985. С. 168–169. 463 с.
9. Соколов Б.А., Абля Э. А.Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. Москва : ГЕОС, 1999. 76 с
10. Харченко В. М., Перлик В.А., Кузнецова А.А. К вопросу о природе бугров Бэра / Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. Астраханский ГУ, 2009. №3 (14). С. 66–71.
11. Харченко В.М. Структуры центрального типа, их связь с месторождениями полезных ископаемых (на примере объектов Предкавказья и сопредельных территорий): автореф. дис. ... доктора геолого-минералогических наук. Ставрополь, 2012. 49 с.
12. Харченко В.М. Автореферат диссертации на соискание степени доктора геол-мин.наук «Структуры центрального типа их связь с месторождениями полезных ископаемых (па примере Предкавказья и сопредельных территорий». Ставрополь 2012. 49 с.

REFERENCES

1. Bembel R.M., Megerya V.M., Bembel S.R. Geosolitons: the functional system of the Earth, the concept of exploration and development of hydrocarbon deposits-Tyumen: Vector Buk, ed. 2. 2003. 224 p. (In Russ.).
2. Gzovsky M. V. Fundamentals of Tectonophysics / M.V. Gzovsky. Moscow: Nauka, 1975. 327 p. (In Russ.).
3. Gorshkov, G.P. Disjunctive tectonics of the Kopet-Dag and the law of chipping stresses / G.P. Gorshkov. Moscow: Vestnik MSU, 1947. No. 1. Pp. 103–115. (In Russ.).
4. Miloserdova, L.V., Tung Phi man Space images of oil and gas fields // Theoretical bases and technology of oil and gas prospecting and exploration // No. 1. 2012. P. 59–62. (In Russ.).
5. Nelepov M.V., Logvinova T.V., Likhovid A.A. Regularities of changes in the productivity of oil wells in Velichaevsko-Kolodeznoye field // Bulletin of the North Caucasus Federal University. 2013. №6 (39). Pp. 54–58. (In Russ.).
6. Nelepov M. V., Kharchenko V. M., Nelepov S.V., Ibragimova T.V. Influence of tectonic factors of the sedimentary cover on the production of hydrocarbons in wells of Stavropol deposits // Materials of the international scientific conference. Stavropol, 2015. P. 70–72. (In Russ.).
7. Petrov A.I. on the mechanism of formation of structures of the Central type [Text] / A. I. Petrov // Soviet Geology, Moscow, 1969, No. 9, Pp. 139–145. (In Russ.).
8. Skaryatin V.D., Atanasyan S.V. Ring structures of the pre-Caucasus / Abstracts of the VI Regional conference on Geology and

mineral resources of the North Caucasus, Essentuki 1985g. Pp. 168–169. 463 c. (In Russ.).

9. Sokolov B.A., Ablya E.A. Fluidodynamic model of oil and gas formation-Moscow: GEOS, 1999. 76 p. (In Russ.)
10. Kharchenko V.M., Perlik V.A., Kuznetsova A.A. To the question of the nature of the Bera hills / South-Russian Bulletin of Geology, geography and global energy. Astrakhan state University, 2009. №3 (14). Pp. 66–71 (In Russ.).
11. Kharchenko V. M. structures of the Central type, their connection with mineral deposits (on the example of objects of the pre-Caucasus and neighboring territories): abstract dissertation for the degree of doctor of geological and mineralogical Sciences. Stavropol, 2012. 49 p. (In Russ.).
12. Kharchenko V. M. abstract of the dissertation for the degree of doctor of GEOL-min.science "structures of the Central type their connection with mineral deposits (PA) of the pre-Caucasus and neighboring territories". Stavropol, 2012. 49 c. (In Russ.).

Поступило в редакцию 15.08.2020,
принята к публикации 01.09.2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лапта Денис Васильевич, аспирант кафедры геологии нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ), 355000, г. Ставрополь, пр. Кулакова 16/1 (корпус 16). Телефон: +7(906)–491–34–26, E-mail: d.lapta@yandex.ru.

Харченко Владимир Михайлович, Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ), 355000, г. Ставрополь, пр. Кулакова 16/1 (корпус 16). Телефон: +7(906)–468–22–64. E-mail: kafgog@ncfu.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Lapta Denis Vasilievich, a graduate student of the Department of Oil and Gas Geology of the North Caucasus Federal University (NCFU), 355000, Stavropol, Klakova Ave. 16/1 (building 16). Phone: +7(906)–491–34–26, E-mail: d.lapta@yandex.ru.

Kharchenko Vladimir Mikhailovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor at the Department of Geology of Oil and Gas, North-Caucasian Federal University (NCFU), 355000, Stavropol, 16/1 Kulakov Ave. (building 16). Phone: +7(906)–468–22–64, E-mail: kafgog@ncfu.ru.

25.00.17
УДК 622.276.66

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Гасумов Р.А. Северо-Кавказский Федеральный университет, г. Ставрополь, Россия
Гасумов Э.Р. Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности», г. Баку, Азербайджан

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ И ПЕРЕВОД ЕЕ В СТАДИЮ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

Введение: В статье рассмотрены причины остановки эксплуатационных газовых скважин (ЭГС) и подходы по прогнозированию критических параметров в них для оценки необходимости перевод в стадии капитального ремонта. Изучены геологические, технологические и аналитические этапы по переводу скважин в капитальный ремонт скважин (КРС).

Материалы и методы исследований: Изложены подходы обоснования и оценки влияния критических значений параметров ПЗП на работу ЭГС для прогнозирования времени остановки скважин.

Результаты исследования и их обсуждение : Предоставлены основные критерии, по которым выполняется оценка эффективности работы ЭГС и необходимости перевода скважины в программу проведения КРС, являющейся совокупность геолого-технических, геолого-промысловых и производственных параметров, характеризующих состояние ПЗП, эксплуатационных скважин и газосборной сети. Рассчитаны значения пороговых давлений для сеноманского продуктивного пласта, присвоены значения кодов геологического состояния скважин по пластовому давлению. Приведены первичные исходные данные для расчета прогнозных дебитов скважин и срока их работы с рентабельным уровнем дебитов ЭГС. Определены условия выбора скважин для проведения успешного КРС с учетом величины текущего пластового давления, позволяющего при требуемой депрессии не допустить выпадения ретроградного конденсата в ПЗП. Изложены главные критерии выбора скважин для проведения КРС, позволяющие получение потенциальных супер-, высоко- и средних дебитов скважин.

Выводы: Планирование скважин при переходе в КРС рекомендуется осуществлять в три этапа: геологический, технологический и аналитический. Предварительная оценка целесообразности перевода скважин в стадию капитального ремонта позволяет сравнительно просто определить очередность остановки скважин, выявить из них, требующие незамедлительного ремонта и (или) ремонта по истечению некоторого промежутка времени. Указанная оценка позволит оценить эффективность ремонтных работ, оптимизировать их планы проведения, уменьшить затраты в связи с аварийным выходом скважин из строя.

Ключевые слова: газовая скважина, дебит, депрессия, призабойная зона пласта, фильтрационно-емкостные свойства, водопроявления, капитальный ремонт скважин

Gasumov R.A. North Caucasus Federal University. Stavropol, Russia
Gasumov E.R. Azerbaijan State University of Oil and Industry. Baku, Azerbaijan

Estimation of the Efficiency of the Operation of The Production Gas Well and Transfer It to the Stage of Capital Repair

Introduction: The article discusses the reasons for shutting down production gas wells (PGW) and approaches to predicting the critical parameters in them to assess the need for transfer to the overhaul stage. The geological, technological and analytical stages of transferring wells to well workovers have been studied.

Materials and methods of the research: The approaches to substantiating and assessing the impact of critical values of the bottom-hole formation zone parameters on the operation of the PGW for predicting the time of well shut-in are presented.

The results of the study and their discussion: The main criteria are provided for assessing the efficiency of the PGW and the need to transfer the well to the workover program, which is a set of geological, technical, geological and production and production parameters that characterize the state of the bottom-hole formation zone, production wells and gas gathering network. The values of the threshold pressures for the Cenomanian productive formation were calculated, the values of the codes of the geological state of the wells by the formation pressure were assigned. The primary initial data for calculating the predicted flow rates of wells and their period of operation with a profitable level of flow rates of the PGW are presented. The conditions for selecting wells for successful workover have been determined, taking into account the value of the current reservoir pressure, which allows, at the required depression, to prevent the fallout of retrograde condensate in the bottom-hole formation zone. The main criteria for the selection of wells for workover, which allow obtaining potential super-, high- and medium well production rates, are stated.

Conclusions: Well planning during the transition to workover is recommended to be carried out in three stages: geological, technological and analytical. A preliminary assessment of the feasibility of transferring wells to the overhaul stage makes it relatively easy to determine the sequence of well shut-in, to identify from them that require immediate repair and (or) repair after a certain period of time. This assessment will allow assessing the effectiveness of repair work, optimizing their plans for carrying out, and reducing costs due to emergency failure of wells.

Key words: well, flow rate, depression, bottomhole formation zone, water showings, gas fields, workover, reservoir properties, field development

Введение

В процессе разработки газоконденсатных месторождений (ГКМ) происходит постоянное изменение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пласта, которые, в свою очередь, влияют на динамику добычи газа, что создает необходимость учет взаимовлияния скважин в динамике.

Основной проблемой эксплуатации сеноманских газовых скважин месторождений Крайнего Севера является скопление конденсационной жидкости на забое и в насосно-компрессорных трубах (НКТ) из-за снижения дебитов ниже критических, необходимых для выноса жидкости. Исследования показали, что зависимость темпов накопления воды в стволе и ПЗП скважин, как правило, имеет экстремальный характер. При небольших дебитах конденсация паров незначительна, и накопления не происходит, а при высоких – вся конденсирующаяся вода выносится на поверхность. При эксплуатации с дебитами, не обеспечивающими вынос жидкости из ПЗП, происходит выпадение конденсационной воды в стволе скважины, что приводит к увеличению столба жидкости на 1,5–2,5 м/сут – для НКТ Ø168 мм, вызывающему еще более интенсивное выпадение конденсационной воды. Увеличение столба жидкости приводит к уменьшению дебита и остановке скважины (самозадавливанию). Величина минимального дебита, обеспечивающего установившийся вынос жидкости из скважины, должна быть не менее 310 тыс. $м^3$/сут (для пластового давления 3,97 МПа, НКТ Ø168 мм, депрессии 0,1–0,15 МПа).

Важным является расчет по данным гидродинамических исследований (ГДИ) скважин прогнозных критических параметров, определяющих необходимость перевода эксплуатационных скважин в стадию капитального ремонта, с выявлением прогнозных параметров скважин (дебита, величин пластового давления по зонам дренирования скважин, проницаемости, пористости, эффективной толщины и др.).

Материалы и методы исследований

Методы системного подхода, систематизации и анализа информации, статистической обработки результатов испытаний, прогнозирования, кластерный, факторный и корреляционный анализ, методы аппроксимации таблично заданных функций и компьютерные методы обработки табличных данных, методы математического моделирования на основе уравнений нефтегазовой гидромеханики. Использовались методы теории фильтрации, математической статистики и теории аппроксимации табличных функций с использованием программных средств. Расчеты критических значений параметров ПЗП осуществляЕТСЯ, как по данным ГДИ скважин во времени, так и по на-

копленной за прошлые годы эксплуатации геолого-промысловой информации (ГПИ) по скважинному фонду месторождения.

Результаты исследований и их обсуждения

Основными критериями, по которым выполняется оценка эффективности работы ЭГС и необходимости перевода скважины в КРС, является совокупность геолого-технических, геолого-промысловых и производственных параметров, характеризующих состояние ПЗП, эксплуатационных скважин и газосборной сети. К числу таких параметров относятся: пластовое давление в зоне дренирования скважины (f_1); коэффициент изменения депрессии (f_2); коэффициент продуктивности скважины (f_3); коэффициент пористости пород-коллекторов (f_4); проницаемость пород-коллекторов (f_5); период самозадавливания скважины (f_6); минимальный дебит скважины, обеспечивающий вынос жидкости с забоя (f_7); запас температур над температурой гидратообразования (f_8); межколонное давление (f_9); ожидаемый срок рентабельной работы скважины (f_{10}); остаточный ресурс прочности обсадной колонны (f_{11}); время обводнения скважины (f_{12}).

Каждый из приведенных параметров задается в нормированном виде (–1; 0; + 1), где код – 1 характеризует близкое к критическому значению оцениваемого параметра, код 0 – умеренное значение оцениваемого параметра и код +1 – далекое от критического значение оцениваемого параметра. Пример обработки данных о технологических режимах работы скважин сеноманского продуктивного горизонта Ямбургского ГКМ (ЯГКМ), представлен в таблице 1.

Можно предоставить аппроксимирующую функцию в виде:

$$P_{пл}\left(V_{накопл}\right) = \beta - \alpha \cdot V_{накопл}, \qquad (1)$$

где α и β – коэффициенты зависимости, вычисляются методом наименьших квадратов, МПа/тыс.м^3 и МПа;

$P_{пл}$ – пластовое давление, МПа;

$V_{накопл}$ – известные объемы отобранного газа, тыс. м^3.

После определения коэффициентов α и β вычисляется значение прогнозного пластового давления $P_{пл\ прогн}$ на следующий квартал по формуле (1).

Для распределения скважин по трем группам в соответствии с их пластовым давлением необходимо ввести градацию по кодам геолого-промыслового состояния скважин. Для этого применяются два пороговых значения пластового давления $P_{пл}^{(-)}$ и $P_{пл}^{(+)}$:

Таблица 1. ДИНАМИКА ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ СЕНОМАНСКИХ СКВАЖИН ЯГКМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАКОПЛЕННОГО ОБЪЕМА ДОБЫЧИ
Table 1. Dynamics of reservoir pressure for Cenomanian wells of the Yamburg gas condensate field depending on the accumulated production volume

Номер скважины	Пластовое давление, МПа	Средне-суточный дебит скважины, тыс. м³/сут	Накопленный объем добычи ($V_{накопл}$), тыс. м³	Коэффициенты зависимости	
				α, МПа/тыс.м³	β, МПа
1011	1,213	52,02	4786,21	–0,51·10–5	1,237
	1,191	57,00	9973,21		
	1,150	53,00	14796,21		
	1,144	51,00	19488,21		
1012	1,251	119,40	10984,73	–0,42·10–5	1,296
	1,208	126,00	22450,73		
	1,160	53,00	27273,73		
	1,172	52,00	32057,73		

$$P_{пл}^{(-)} = P_{min} + \alpha_{пл}\left(P_{max} - P_{min}\right), \quad (2)$$

$$P_{пл}^{(+)} = P_{max} - \beta_{пл}\left(P_{max} - P_{min}\right), \quad (3)$$

где P_{min} – минимальное значение пластового давления по исследуемому объекту, атм;

P_{max} – максимальное значение пластового давления по исследуемому объекту, атм;

$\alpha_{пл}$ и $\beta_{пл}$ – параметры, принимающие значения от 0 до 1 и задаваемые газодобывающей предприятием (ГДП), осуществляющей разработку месторождений.

Заметим, что пороговые значения пластовых давлений $P_{пл}^{(-)}$ и $P_{пл}^{(+)}$ могут задаваться не только по формулам (2) и (3), но и на основе экспертных оценок ГДП.

Высокое (+1) значение параметра f_1 (кода геолого-промыслового состояния), характеризующего падение пластового давления, присваивается скважинам, у которых в зонах дренирования прогнозное плас-

Таблица 2. ЗНАЧЕНИЯ ПОРОГОВЫХ ДАВЛЕНИЙ СЕНОМАНСКОЙ ЗАЛЕЖИ ЯГКМ

Table 2. Threshold pressures for Cenomanian deposit of the Yamburg gas condensate field

Номер УКПГ	Параметр			
	P_{min}	P_{max}	$P_{пл}^{(-)}$	$P_{пл}^{(+)}$
1	9,95	28,87	16,26	22,56
2	9,05	20,34	12,81	16,58
3	8,91	13,72	10,51	12,12
4	10,15	48,81	23,04	35,92
5	7,50	17,49	10,83	14,16
6	8,39	25,86	14,21	20,04
7	9,40	46,59	21,80	34,19
8	31,96	77,22	47,05	62,13
9	100,50	103,51	101,50	102,51
10	89,23	104,49	94,32	99,40

товое давление $P_{пл\ прогн}$ выше порогового значения $P_{пл}^{(+)}$ по объекту [2]. Среднее значение (0) кода геолого-промыслового состояния присваивается скважинам, у которых в зонах дренирования прогнозное пластовое давление $P_{пл\ прогн}$ ниже $P_{пл}^{(+)}$, но выше $P_{пл}^{(-)}$ и низкий (–1) код геолого-промыслового состояния присваивается скважинам, у которых в зонах дренирования прогнозное пластовое давление $P_{пл\ прогн}$ ниже первого порогового значения $P_{пл}^{(-)}$ по месторождению.

Рассчитанные значения пороговых давлений для рассматриваемого сеноманского продуктивного пласта ЯГКМ при $\alpha_{пл} = \beta_{пл} = 1/3$ приведены в таблице 2, используя эти данные, могут быть присвоены значения кодов геологического состояния скважин по пластовому давлению.

Линейная аппроксимация проводилась по четырем точкам, чтобы повысить точность аппроксимации, рекомендуется брать данные работы скважин за три года, что позволит использовать 12 точек для проведения расчетов.

Оценка коэффициента изменения депрессии заключается в определении депрессии при текущих пластовых условиях и сравнении ее с депрессией при коэффициентах A и B, характеризующих состояние ПЗП предыдущих исследований ГДИ.

Определяется депрессия ΔP_1 при текущих и ΔP_2 (измеренных во время предыдущих ГДИ при текущих значениях пластового давления и дебита) при фильтрационных сопротивлений значениях коэффициентов A и B по формуле:

$$\Delta P_1 = P_{пл} - \sqrt{P_{пл}^2 - A_1 \cdot Q - B_1 \cdot Q^2}, \quad (4)$$

$$\Delta P_2 = P_{пл} - \sqrt{P_{пл}^2 - A_2 \cdot Q - B_2 \cdot Q^2}, \quad (5)$$

где $P_{пл}$ – пластовое давление на момент проведения ГДИ, МПа;
$\grave{A}_1$ и $\grave{A}_2$ (на момент предыдущих исследований) – коэффициенты A на момент исследований, МПа^2/(тыс. м^3/сут);
$\hat{A}_1$ и $\hat{A}_2$ (на момент предыдущих исследований) – коэффициент B на момент исследований, МПа^2/(тыс. м^3/сут)^2;
Q – дебит на момент исследований, тыс. м^3/сут.

Величина коэффициента изменения депрессии определяется:

$$K_{ид} = \frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \cdot 100\,\%. \quad (6)$$

Если $K_{ид}$ больше 100 %, говорит о том, что на скважине для получения того же дебита необходима большая депрессия, т.е. произошло ухудшение проницаемости ПЗП.

Значение параметра f_2, характеризующего изменение ФЕС, присваивается скважинам: высокое (+1), у которых $K_{ид} \leq 100\,\%$; среднее (0) у которых $100\,\% < K_{ид} \leq 150\,\%$; низкое (–1) у которых $K_{ид} > 150\,\%$.

Промысловые данные об изменении депрессии по скважинам (результаты ГДИ за несколько лет) позволили установить следующее: на 72 % скважин депрессия изменилась в меньшую сторону или осталась на прежнем уровне; 19 % скважин показали увеличение депрессии до 1,5 раз; 9 % скважин показали резкое увеличение значений депрессии более чем в 1,5 раза. Учитывая нелинейный характер фильтрационных процессов в пласте, коэффициент продуктивности определяется:

$$K_{пр} = \frac{Q}{P_{пл}^2 - P_{заб}^2}, \quad (7)$$

где Q – дебит скважины, тыс.м^3/сут;
$P_{пл}$ – давление газа в пласте на контуре питания, МПа;
$P_{заб}$ – давление на забое скважины, МПа.

Найденные значения $K_{пр}^{max}$, $K_{пр}^{mix}$ и $K_{пр}^{сред}$ в совокупности с весовыми параметрами $\alpha_{пр}$ и $\beta_{пр}$ позволяют рассчитать нижнее и верхнее пороговые значения $K_{пр}^{(-)}$ и $K_{пр}^{(+)}$ коэффициента продуктивности:

$$K_{пр}^{(-)} = K_{пр}^{min} + \alpha_{пр}\left(K_{пр}^{сред} - K_{пр}^{min}\right), \quad (8)$$

$$K_{пр}^{(+)} = K_{пр}^{max} - \beta_{пр}\left(K_{пр}^{max} - K_{пр}^{сред}\right). \quad (9)$$

Параметры $\alpha_{пр}$ и $\beta_{пр}$ принимают значения от 0 до 1 (задаются ГДП осуществляющей разработки месторождений).

Скважины, у которых значение коэффициента продуктивности f_3: если меньше нижнего порогового значения ($K_{пр} < K_{пр}^{(-)}$) относятся к низкопродуктивным и присваиваетмся значение параметра – высокое (+1); если лежит между нижним и верхним пороговыми значениями ($K_{пр}^{(-)} \leq K_{пр} \leq K_{пр}^{(+)}$) относятся к среднепродуктивным и м присваивается значение параметра – среднее (0); если превышает верхнее пороговое значение ($K_{пр} > K_{пр}^{(+)}$) относятся к высокопродуктивным и присваивается значение параметра – низкое (–1). Порядок присвоения значений параметру f_3 обусловлен тем, что в стадию КРС ремонта следует выводить в первую очередь те скважины, которые после проведения ремонтных работ дадут быструю окупаемость и увеличение прибыли. Проведение КРС с высоким коэффициентом продуктивности потенциально обеспечит более высокий экономический эффект, чем ремонт скважин с низким коэффициентом продуктивности.

Для контроля за состоянием скважин с наличием межколонных давлений (МКД) вводится параметр f_9. Предельно допустимая величина МКД ($P_{мк}^{(max)}$) на скважинах конкретного месторождения определяется проектами на разработку месторождений.

Скважины, для которых МКД ($P_{мк}$): если превышает верхнее пороговое значение $P_{мк}^{(+)}$ ($P_{мк} < P_{мк}^{(+)}$) относятся к скважинам с высокими межколонными проявлениями и присваивается значение параметра – низкое (–1) f_9. Скважины с низким значением параметра f_9, межколонное давление которых ниже предельно допустимой величины $P_{мк}^{(max)}$, следует эксплуатировать по проектным конструкциям и по проектным схемам обвязки устья. В скважинах, МКД которых превышает предельно допустимую величину $P_{мк}^{(max)}$, эксплуатацию или мероприятия по снижению величины давления следует проводить согласно действующему на месторождении регламенту.

Скважины, для которых МКД $P_{мк}$ лежит между нижним и верхним пороговыми значениями ($P_{мк}^{(-)} \leq P_{мк} \leq P_{мк}^{(+)}$) относятся к скважинам со средними межколонными проявлениями. Им присваивается сред-

нее (0) значение параметра f_9. Скважины, для которых МКД $P_{мк}$ меньше нижнего порогового значения ($P_{мк} < P_{мк}^{(-)}$) относятся к скважинам с низкими межколонными проявлениями. Им присваивается высокое (+1) значение параметра f_9.

Первичными исходными данными для расчета прогнозных дебитов скважин и срока их работы с рентабельным уровнем дебитов служат накопленные за прошлые годы ежемесячные эксплуатационные рапорта и два следующих, назначаемых специалистами предприятия, параметра. Это минимальный рентабельный дебит $Q_{рен}$ (тыс. м^3/сут.) для скважин данного предприятия в текущем году и базисная величина Q_0 (тыс. м^3/сут.) для расчета нормированных дебитов. В качестве Q_0 может быть выбрано максимальное значение среднесуточного дебита по месторождению.

Вначале для каждой скважины заполняется сводная таблица, динамики безразмерного среднесуточного дебита скважины $q(t) = Q(t)/Q_0$, сгруппированного по годам наблюдения. В этой же таблице приводятся рассчитанные значения среднегодовых, максимальных и минимальных годовых значений дебитов скважины. Далее, для среднегодовых $q_{год}(t)$, минимальных $q_{мин\ год}(t)$ и максимальных $q_{макс\ год}(t)$ дебитов строится уравнение тренда. В частности, динамика дебита скважины достаточно хорошо аппроксимируется экспоненциальным трендом с полиномом третьей степени в показателе:

$$q(t) = a \cdot e^{\alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \gamma \cdot t^3}. \tag{10}$$

Для определения параметров a, α, β и γ тренда выполним логарифмирование уравнения (10):

$$\ln[q(t)] = \ln a + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \gamma \cdot t^3, \tag{11}$$

что позволяет использовать метод наименьших квадратов.

Вычисляя значения логарифмов $\ln[q_{год}(t)]$, $\ln[q_{мин\ год}(t)]$ и $\ln[q_{макс\ год}(t)]$ и определяя коэффициенты разложения (11) в каждом случае, находим уравнения для расчета прогнозных дебитов $q_{год}(t)$, $q_{мин\ год}(t)$ и $q_{макс\ год}(t)$.

Ожидаемый срок службы $t_{рен}$ скважины с дебитами, выше минимально рентабельного $q_{рен}$ вычисляют по кубическому уравнению:

$$\gamma \cdot t_{рен}^3 + \beta \cdot t_{рен}^2 + \alpha \cdot t_{рен} - \ln\left(\frac{q_{рен}}{a}\right) = 0, \tag{12}$$

где $q_{рен}$ – безразмерное значение рентабельного дебита

$(q_{рен} = Q_{рен} / Q_{рен})$.

Уравнение (10) также позволяет получить прогнозную оценку объема $V(t_п;\ t_{рен})$ добычи газа за срок рентабельной службы скважины:

$$V_г(t_п; t_{рен}) = 365 \cdot Q_0 \cdot \int_{t_п}^{t_{рен}} a \cdot e^{\alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \gamma \cdot t^3}\, dt \approx 365 \cdot Q_0 \cdot \sum_{t=t_п}^{t_{рен}} q_{год}(t), \quad (13)$$

где $t_п$ – номер последнего года наблюдения за скважиной;
$t_{рен}$ – номер прогнозного года, в котором дебит скважины ещё остается выше минимально рентабельного.

Результаты пример расчетов привело к значению $t_{рен} \approx 11$ лет, значит, продолжительность рентабельной службы скважины равна 6 лет и на ней нет необходимости проводить КРС. Прогнозная оценка объема $V_г(t_n;\ t_{рен})$ добычи газа за срок рентабельной службы скважины равна $V_г(t_n;\ t_{рен}) \approx 211{,}3$ млн м^3.

Процедуру обработка промысловых данных о дебитах ЭГС, формирование таблиц, расчеты времени рентабельной работы скважины и ожидаемой добычи газа за срок рентабельной работы были автоматизированы с помощью разработанной Программы для ЭВМ «Прогноз производительности скважин на основании аппроксимации накопленных данных по дебитам», выполняющая все перечисленные действия [3].

В соответствии с построенными прогнозами определяется код геолого-промыслового состояния скважины (f_{10}) по времени рентабельной работы. Высокое (+1) значение параметра f_{10}, характеризующего ожидаемый срок работы скважины с дебитом выше минимально рентабельного, присваивается скважинам, у которых $t_{рен} > 5$лет. Среднее значение (0) присваивается скважинам, у которых $2 < t_{рен} \leq 5$ и низкое (–1) присваивается скважинам, у которых $t_{рен} \leq 2$.

В соответствии с рассчитанным временем достижения критических значений остаточной прочности обсадных колонн и критического значения остаточного ресурса технического состояния скважин вводится код f_{11} геолого-промыслового состояния скважины.

Высокое (+1) значение параметра f_{11}, характеризующего остаточный ресурс прочности обсадной колонны скважины, присваивается скважинам, у которых $T_{ост}^{ок} > 5$ лет, среднее значение (0), у которых $2 < T_{ост}^{ок} \leq 5$ и низкое (–1) у которых $T_{ост}^{ок} \leq 2$.

Параметру f_{12} присваивается значение (–1), если прогнозное время обводнения скважины меньше одного года, если от одного года до пяти лет, присваивается значение (0), если больше пяти лет, присваивается значение (+1).

Таблица 3. СВЕДЕНИЯ ОБ УРОВНЕ ГВК И НАКОПЛЕННОМ ОТБОРЕ ГАЗА УСЛОВНОЙ СКВАЖИНЫ (ИНТЕРВАЛ ПЕРФОРАЦИИ 1095 – 1133 М)
Table 3. Information about gas-water contact level and accumulated gas production of a conditional well (Perforation interval 1095 – 1133 m)

Периодичность замера (через), год	Уровень ГВК, м	Накопленный отбор, млн. м³	Результат промежуточных вычислений	
			квадрат накопленного отбора, (млн.м³)₂	произведение накопленного отбора газа и уровня ГВК (млн.м³·м)
1	1142,0	874	763876	998108
2	1139,2	913	833569	1040090
3	1136,8	961	923521	1092465
4	1135,2	1003	1006009	1138606
5	1133,5	1056	1115136	1196976
Сумма	5686,7	4807	4642111	5466244

В качестве примера выполним расчет времени обводнения условной скважины. Исходные значения уровня ГВК и накопленного отбора газа приведены в таблице 3. Здесь же приведены результаты промежуточных расчетов.

Сопоставляя найденные значения накопленных отборов газа, соответствующие началу обводнения скважины ($V_{\text{ниж}}$) и ее полному обводнению ($V_{\text{верх}}$) с планами планам отбора газа из скважины, можно оценить время начала и конца обводнения скважины и рассчитать код f_{11} геолого-промыслового состояния скважины.

По результатам вычисленных значений кодов геолого-промыслового состояния скважины $f_1 - f_{12}$ формируется диагностическая карта скважины. В нее заносятся текущие значения геолого-технических, геолого-промысловых и экономических параметров $f_1 - f_{12}$, характеризующих состояние ПЗП, эксплуатационных скважин и газосборной сети, а также прогнозное время достижения критических значений этих параметров.

Для параметров $f_2 - f_9$ прогнозные значения не рассчитываются, а указываются только текущие значения этих параметров для данной скважины.

По данным диагностической таблицы вычисляется итоговая рейтинговая оценка технического и геолого-промыслового состояния скважины по формуле

$$R = \sum_{i=1}^{12} \alpha_i \times f_i, \qquad (14)$$

где f_i – нормированные значения параметров (–1, 0, +1);

α_i – весовые коэффициенты параметров, утверждаемые главными специалистами газодобывающего предприятия.

Заметим, что точные значения весовых коэффициентов α_i зависят от конкретных условий месторождения, на которых может быть различная специфика влияния параметров $f_1 - f_{12}$ на выбор скважин – кандидатов на КРС. По этой причине весовые множители α_i для скважин каждого конкретного месторождения должны задаваться газодобывающей компанией. Единственные ограничения, накладываемые на эти множители, связаны с необходимостью адекватного отображения степени значимости параметров $f_1 - f_{12}$ в качестве критериев перевода скважины в стадию капитального ремонта и с неизменностью множителей α_i для всех скважин данного конкретного месторождения.

Примерные значения весовых коэффициентов α_i параметров скважины и ПЗП приведены в таблице 4. Рассчитанный по формуле (14) рейтинг скважины для значений параметров f_i рекомендуется включение в план проведения КРС.

Геолого-технические мероприятия по переводу скважин в стадию КРС планируются для выполнения плановых заданий по добыче газа и конденсата, охраны природных ресурсов и недр, а также замены вышедших из строя элементов конструкции скважин и ликвидации аварий со скважинным оборудованием и исследовательскими приборами в скважинах [4–7].

Планирование скважин при переходе в КРС рекомендуется осуществлять в три этапа: геологический, технологический и аналитический.

Основной задачей геологического этапа является построение пространственной геолого-промысловой модели участка месторождения (залежи, пласта) в районе планируемой для КРС скважины и адаптация ее к реальным условиям эксплуатации. На представляемой модели должны быть показаны: детальная корреляция продуктивного пласта (пластов) с граничащими пропластками и коллекторами и характеристикой класса коллекторов; детальные геологические профили продуктивного пласта через планируемую скважину или куст с нанесением положения контактов ГВК, ГНК, ВНК, интервала (интервалов) перфорации; структурные карты или карты поверхности кровли

Таблица 4. ПРИМЕРНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПАРАМЕТРОВ СКВАЖИНЫ И ПЗП

Table 4. Approximate weighting factors for well parameters and bottomhole formation zone

Параметр f_i	**Весовой коэффициент α_i**
f_1 – пластовое давление в зоне дренирования скважины	10
f_2 – коэффициент изменения депрессии	8
f_3 – коэффициент продуктивности скважины	15
f_4 – коэффициент пористости пород-коллекторов	3
f_5 – проницаемость пород-коллекторов	3
f_6 – период самозадавливания скважины	8
f_7 – минимальный дебит скважины, обеспечивающий вынос жидкости с забоя	15
f_8 – запас температур над температурой гидрато-образования	7
f_9 – межколонные давления	20
f_{10} – ожидаемый срок рентабельной работы скважины	5
f_{11} – остаточное время эксплуатации обсадной колонны	6
f_{12} – время полного обводнения скважины	4

и подошвы коллекторов планируемого объекта с нанесением внешнего и внутреннего контуров газо- нефтеносности, зон выклинивания или фациального замещения пластов, а также положения тектонических нарушений (при их наличии); карты общих, эффективных газонефтегазонасыщенных толщин; глубина залегания, литологический и вещественный состав пород объекта, минеральный состав зерен скелета, цемента пор, глинистость, карбонатность; структура порового пространства пласта; фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов – пористость, проницаемость, нефте-, газо- и водонасыщенность; количественная оценка неоднородности продуктивных пластов, расчлененности, прерывистости, песчанистости, изменчивости, проницаемости; величина удельного газонасыщенного объема пласта (произведение эффективной толщины на эффективную пористость и газо- нефтенасыщенность); плотность промышленных запасов на участке (первоначальная, текущая); коэффициент проницаемости (пер-

воначальный, текущий), скин-эффект; характеристика залежи (положение ГВК, ВНК, пластовое давление в продуктивной и законтурной областях (начальное, текущее), режим залежи, карта изобар, характеристика газа, конденсата, нефтяной оторочки, температура пласта, давление ретроградной конденсации, насыщения нефти газом); свойства пластовых флюидов, газонасыщенность, содержание парафина в конденсате; гидрогеологическая характеристика водопритоков, химический состав конденсационной, пластовой воды.

На технологическом этапе на основе анализа полученных данных производится: определение добывных возможностей участка (зоны) планируемой для КРС скважины; оценка технологических показателей эксплуатации планируемой скважины; установление газоотдающих интервалов; газогидродинамические исследования во времени; оценка динамики обводнения скважины, текущих отборов и изменения продуктивности скважины; установление связи между обводненностью и пластовым пескопроявлением; построение зависимости, характеризующей геолого-технологические условия эксплуатации скважин; оценка темпов обводнения и прогноз работы эксплуатационных скважин.

Основной задачей аналитического этапа является установление степени отработки и категорийности остаточных запасов газа в районе планируемой для КРС скважины, разработка комплекса технологических мероприятий: построения геолого-статистического разреза возможности подключения продуктивных интервалов и целиков в разработку; оценки текущей газонасыщенности продуктивного пласта в районе исследуемой скважины комплексом ГИС; разработки рекомендаций комплекса технологических мероприятий по воздействию на пласт; расчета потребности в специальном оборудовании, агентах воздействия на пласт; обоснования уровня добычи газа и закачки агентов воздействия на период проведения КРС.

Выводы

Одним из основных критериев для выбора скважин, с целью проведения в них ремонтных работ являются коэффициенты продуктивности пластов по соседним скважинам, фильтрационные коэффициенты уравнения притока, позволяющие рассчитать прогнозный рабочий дебит скважин.

Условием выбора скважин для проведения успешного КРС является величина текущего пластового давления, позволяющая при требуемой депрессии не допустить выпадения ретроградного конденсата в призабойной зоне и получить минимальный рабочий дебит скважины 100–120 тыс. м^3/сут и температуру на устье скважины выше 14 °С.

Предварительная оценка целесообразности перевода скважин в стадию капитального ремонта позволяет сравнительно просто определить очередность остановки скважин, выявить из них, требующие незамедлительного ремонта и (или) ремонта по истечению некоторого промежутка времени. Кроме того, указанная оценка позволит оценить эффективность ремонтных работ, оптимизировать планы проведения ремонтных работ, уменьшить затраты в связи с аварийным выходом скважин из строя.

Библиографический список

1. Гасумов Р.А. Исследования режимы движения газожидкостных потоков применительно к условиям эксплуатации обводяющихся газовых скважин / Гасумов Р.А., Гасумов Э.Р. // Наука. Инновации. Технологии. 2020. № 2. С. 7–26.
2. Одишария Г.Э., Точигин А.А. Прикладная гидродинамика газожидкостных смесей // М.: ВНИИгаз. 1998. 398 с.
3. Гасумов Р.А. Среднесрочный прогноз дебитов добывающих скважин в среде MS Excel / Гасумов Р.А., Толпаев В.А., Ахмедов К.С., Винниченко И.А. // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2012. № 7. С. 32–36.
4. Уолллис Г. Одномерные двухфазные течения // М.: Мир. 1972. 440 с.
5. Гасумов Р.А. Исследование потери давления при движении газожидкостных потоков в вертикальных трубах / Гасумов Р.А., Шихалиева И.С., Искандерова И.И. // Наука. Инновации. Технология. 2016. № 3. С. 165-176.
6. Карнаухов В.Л., Пьянкова Е.М. Современные методы гидродинамических исследований скважин // М.: Инфра-Инженерия. 2010. 432 с.
7. Гасумов Р.А. Аппроксимационные математические модели эксплуатационных свойств газовых скважин и их применение к расчетам прогнозных дебитов / Гасумов Р.А., Толпаев В.А., Ахмедов К.С., Першин И.М., Гасумов Э.Р. // Нефтепромысловое дело. 2019. № 5 (005). С. 53-59.

References

1. Gasumov R.A., Gasumov E.R. Investigation of the modes of movement of gas-liquid flows as applied to the operating conditions of bypassing gas wells / Gasumov R.A., Gasumov E.R. // The science. Innovation. Technology. 2020. No. 2. pp. 7-26.
2. Odisharia G. E. Applied hydrodynamics of gas-liquid mixtures. / Odisharia G. E., Tochigin A. A. // M.: VNIIgaz. 1998. 398 p.
3. Gasumov RA, Tolpaev VA, Akhmedov KS, Vinnichenko IA Medium-term forecast of production well rates in MS Excel // Automation, telemechanization and communication in the oil industry. No. 7. 2012. pp. 32–36.

4. Wallis G. One-dimensional two-phase flows // M.: Mir. 1972. 440 p.
5. Gasumov R.A. Investigation of pressure loss during the movement of gas-liquid flows in vertical pipes. / Gasumov R.A., Shikhalieva I.S., Iskanderova I.I. // The science. Innovation. Technology. 2016. No. 3. pp.165-176.
6. Karnaukhov V.L., Pyankova E.M. Modern methods of hydrodynamic studies of wells // M.: Infra-Engineering. 2010. 432 p.
7. Gasumov R.A. Approximating mathematical models of the operational properties of gas wells and their application to the calculation of predicted flow rates / Gasumov R.A., Tolpaev V.A., Akhmedov K.S., Pershin I.M., Gasumov E.R. // Oilfield business. 2019. No.5 (005). pp. 53–59.

Поступило в редакцию 26.08.2020, принята к публикации 01.09.2020.

Сведения об авторах

Гасумов Рамиз Алиджавад-оглы, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирование объектов в нефтегазовой сфере Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия.
E-mail: r.gasumov@yandex.ru

Гасумов Эльдар Рамизович, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности. Азербайджан, Баку.
E-mail: Priemnaya@scnipigaz.ru

About the authors

Gasumov Ramiz Alijavad-oglu, Doctor of Technical Sciences, Professor, North Caucasus Federal University. Stavropol, Russia.
E-mail: r.gasumov@yandex.ru

Gasumov Eldar Ramizovich, Candidate of economic sciences, Associate Professor at Management Department, Azerbaijan State University of Oil and Industry. Azerbaijan, Baku.
E-mail: Priemnaya@scnipigaz.ru.

25.00.23
УДК 551.435.627(470.630)

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

Разумов В.В., Почвенный институт им. В.В. Докучаева, г. Москва, Россия, razumov_vv@mail.ru;
Богданова Н.Д., Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве, г. Москва;
Висхаджиева К.С. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

АКТИВНОСТЬ ОПОЛЗНЕВЫХ ЗОН НА КУБАНСКОЙ РАВНИНЕ (СТАВРОПОЛЬСКИЙ КРАЙ)

Введение: по особенностям рельефа Ставропольский край можно разделить на несколько геоморфологических областей. Одна из них – Кубанская равнина, ограниченная с севера и востока долинами рек Кубань и Большой Зеленчук, а с юга и запада – административными границами края. Она представляет собой прибрежную равнину шириной до 30 км с абсолютными отметками 150–200 м. Особенности гидрогеологического строения и рельефа обусловливают широкое развитие оползневых процессов, которые несут значительную угрозу населенным пунктам и хозяйственным объектам. Целью проведенного исследования стало изучение масштабов распространения оползневых процессов и активности их проявления в оползневых зонах Кубанской равнины.

Материалы и методы исследований: главным методом работы стал анализ различных источников, содержащих информацию об активности проявления оползневых процессов на Кубанской равнине (в пределах Ставропольского края). В качестве основных материалов использовались литературные источники и опубликованные данные Центра государственного мониторинга состояния недр ФГБУ «Гидроспецгеология». В качестве вспомогательного применялся картографический метод, позволивший наглядно отобразить распределение оползневых зон и активных оползней на изучаемой территории.

Результаты исследований и их обсуждение: был проведен анализ условий активизации и распространения оползневых процессов на территории как всей Кубанской равнины, так и по отдельным зонам. В ходе исследования было установлено, что факторами оползневых активизаций являются: атмосферные осадки и боковая эрозия постоянных и временных водотоков, реже – изменения уровня грунтовых вод и техногенная нагрузка. Основные оползни и потенциально-оползневые территории, приуроченные к склонам балок Малая и Большая Казьма и уступам надпойменных террас рек Большой Зеленчук и Кубань, объединены в три оползневые зоны, которые характеризуются различной активностью проявления и, следовательно, разной степенью опасности. К сожалению, представить полную картину развития оползневых процессов невозможно, поскольку отсутствуют материалы крупномасштабной оползневой съемки и карты (координаты) точного местоположения основных оползневых массивов в пределах Кубанской равнины.

Выводы: проведенные систематизация и анализ источников позволили оценить условия, причины образования оползней, масштабы их развития и режим активизации на Кубанской равнине в 2005–2019 гг. За исследуемый период наибольшее влияние на оползневую активность оказали природные факторы. Благодаря режимным наблюдениям была установлена степень активности оползневых процессов в разных оползневых зонах Кубанской равнины. Преобладающее развитие этот процесс получил в Казьминской оползневой зоне. Наиболее значимые подвижки наблюдались в 2005, 2010, 2011, 2014, 2015, 2018 гг. По результатам исследования были выявлены наиболее подверженные оползневым процессам населенные пункты региона, приведены сведения о масштабах произошедших разрушений и деформаций жилых домов и хозяйственных объектов.

Ключевые слова: оползневые процессы; оползни; оползневые подвижки; оползневые формы; активизация оползней; оползневая деятельность

Razumov V.V., Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia
razumov_vv@mail.ru;
Bogdanova N.D., Russian Geotechnical Institute" LLC, Moscow, Russia;
Viskhadzhieva K.S. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Activity of the Landslide Zones in the Kuban Plain (Stavropol Krai)

Introduction: Stavropol Krai is subdivided into several geomorphological areas. One of them is the Kuban Plain, bounded by the Kuban and Bolshoi Zelenchuk River valleys and administrative boundaries. It's a coastal plain up to 30 km wide with absolute altitudes of 150–200 m. Due to the peculiarities of the hydrogeological and geomorphological structure the landslide processes are typically for this territory. They pose a threat to settlements and economic facilities. The purpose of the paper was to study the scale of landslide distribution and the activity of their manifestations in the landslide zones of the Kuban plain.

Materials and methods of the research: main research method was the analysis of various sources containing information on the distribution and activity of landslides in Kuban plain. Cartographic method was also used to visualize the landslide zones distribution in the study area.

The results of the study and their discussion: conditions for activation and spread of landslide processes in the Kuban plain were analyzed. It was found that factors of landslide activation are: atmospheric precipitation, erosion and less frequently – groundwater level changes and technogenic impact. The main landslides and potential landslide areas, which are located on the slopes of the ravines and ledges of the fluvial terraces are united into three landslide zones, which are characterized by different manifestation activity and hazard level. Unfortunately, now it's impossible to present a complete picture of landslide development, as there are no large-scale landslide survey materials and no maps of the exact location of the main landslide massifs within the Kuban plain.

Conclusions: systematization and analysis allow to assess the conditions, formation causes, scale of development and the regime of activation of the landslides in the Kuban Plain in 2005–2019. During this period, natural factors had the greatest impact on landslide activity. Regular observations allow to assess the degree of landslide activity in different zones of the Kuban plain. This process prevailed in the Kazminskaya landslide zone. The most significant landslide motions were observed in 2005, 2010, 2011, 2014, 2015, 2018. According to the survey results, the settlements most exposed to landslide processes were identified, and information on the scale of deformation of residential houses and economic facilities was provided.

Key words: landslide processes; landslides; landslide motions; landslide landforms; landslide activation; landslide activity.

ВВЕДЕНИЕ

Кубанская равнина является одной из трех основных геоморфологических областей (Ставропольская возвышенность, Кубанская равнина, Воровсколесские высоты) равнинной территории Ставропольского края [6]. С севера и востока она ограничена долинами рек Кубань и Большой Зеленчук, а с юга и запада – административной границей с Карачаево-Черкесской Республикой и Краснодарским краем (рис. 1). В геоморфологическом отношении, изучаемая область представляет собой прибрежную равнину шириной до 30 км с ровной поверхностью, абсолютные отметки не превышают 150–200 м. Глубина вреза эрозионной сети достигает 100 м. Кубанская равнина сложена четвертичными песчано-глинистыми, песчаными и валунно-галечниковыми аллювиальными отложениями рек Кубань и Большой Зеленчук, прикрытыми слоем делювиальных суглинков [1]. Оползневые процессы на Кубанской равнине развиваются в бортах долин рек Кубань и Большой Зеленчук, а также на склонах балок Малая и Большая Казьма.

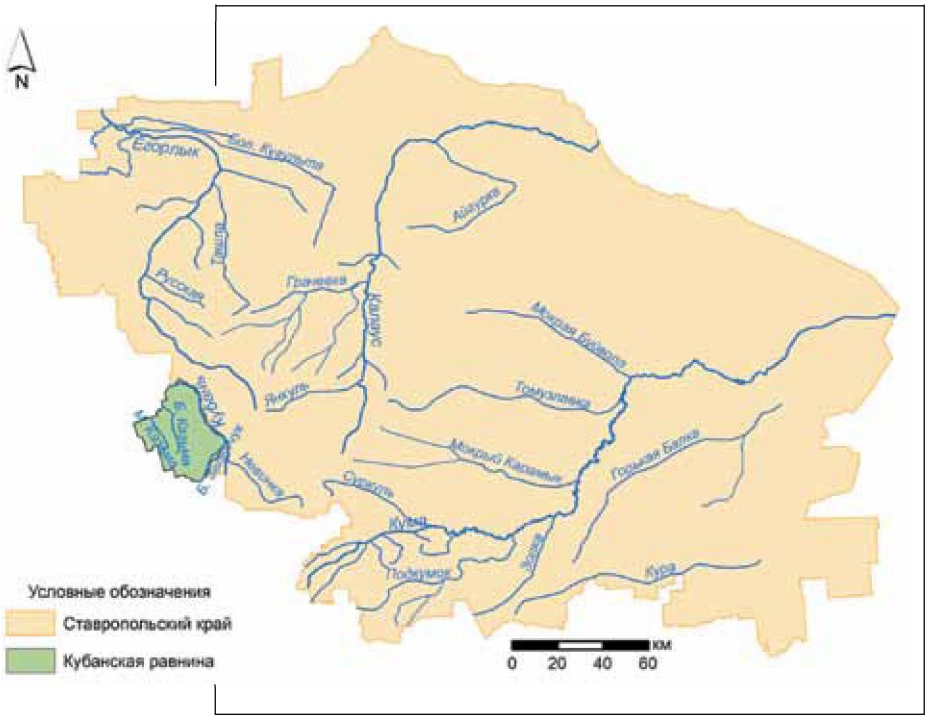


Рис. 1. **Кубанская равнина в границах Ставропольского края.**
Fig. 1. Location of the Kuban Plain in the borders of the Stavropol Krai.

Цель настоящего исследования – изучение опасности и активности проявления оползневых процессов на Кубанской равнине (в пределах границ Ставропольского края). Для достижения данной цели решались следующие задачи:

— характеристика условий и причин активизации оползневых процессов, развитых на территории изучаемого региона;
— изучение опасности и активности их проявления в оползневых зонах региона за 2005–2019 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основным методом, применяемым в данной работе, стал анализ различных источников, содержащих информацию об активности проявления оползневых процессов на территории Кубанской равнины (в границах Ставропольского края).

В качестве основных использовались литературные источники и опубликованные данные Центра государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) ФГБУ «Гидроспецгеология» [2–6]. Обобщение и систематизация собранного материала с единых методических позиций позволили достаточно достоверно оценить степень опасности и активность проявления оползневых процессов в оползневых зонах (далее – ОЗ) Кубанской равнины. Картографические материалы создавались в программе ArcGIS.

При характеристике степени оползневой активности и пораженности использовались градации, разработанные специалистами Ставропольского центра государственного мониторинга природных ресурсов [6]: сильная пораженность – поражено более 25% территории, средняя – 5–25%, слабая – менее 5%. Степень активности определялась по величине отклонения площадной оползневой активности от среднемноголетнего значения: менее 25% нормы – очень низкая активность, 25–50% – низкая, 50–75% – пониженная, 75–125% – средняя, 125–150% – повышенная, 150–200% – высокая, более 200% – очень высокая.

В работе использованы данные [10] по годовым и месячным суммам осадков, зафиксированных метеостанцией «Невинномысск» в 2004–2019 гг. В исследовании дополнительно были использованы следующие материалы (далее – Отчеты):

— отчет по объекту 60-4 «Ведение государственного мониторинга состояния недр территории Южного федерального округа в 2005–2007 гг.». Книга 1 (ЮРЦ ГМСН ФГУГП «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2007);

— отчет о результатах работ по объекту 6-06/07 «Ведение государственного мониторинга состояния недр территории Южного федерального округа в 2008–2010 гг.». Книга 2 (ЮРЦ ГМСН ФГУГП «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2011);
— геологический отчет по объекту «Государственный мониторинг состояния недр территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов в 2011–2013 гг.». Книга 2 (ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2013);
— геологический отчет о результатах выполненных работ по объекту «Государственный мониторинг состояния недр территории Северо-Кавказского ФО в 2014–2015 гг.». Книга 1 (ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2015).

Необходимо отметить, что ведение государственного мониторинга состояния недр на территории Ставропольской возвышенности с 2004 по 2010 гг. осуществляли Территориальный центр государственного мониторинга геологической среды (ТЦ ГМГС) по Ставропольскому краю и Кавминводский ТЦ ГМГС ОАО «Кавказгидрогеология»; в 2011–2014 гг. – ГУП СК «Ставропольский центр государственного мониторинга природных ресурсов»; а с 2015 г. – ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», согласно [2–6] и Отчетам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Оценка условий активизации и распространения оползневых процессов на территории Кубанской равнины

Обычно оползневые активизации на Кубанской равнине начинаются в марте-апреле и достигают максимальных скоростей в мае. Их основные факторы – атмосферные осадки, боковая эрозия постоянных и временных водотоков, изменения уровня грунтовых вод и техногенная нагрузка. Для изучаемой территории оползнеформирующими являются осадки, рассчитанные с мая предыдущего года по апрель текущего [6], поэтому анализировались осадки именно за этот период. Аналогично определялось влияние режима уровня грунтовых вод.

Боковая эрозия – ведущий фактор образования оползней, развивающихся в нижних частях склонов речных долин Кубани и Большого Зеленчука. Обычно в пределах эрозионного участка фиксируются

один или даже несколько оползней по бортам. Языки, а иногда и зоны транзита таких форм эродируются водотоком, что способствует активизации всего оползня. Оползневые активизации, обусловленные техногенным воздействием, наблюдаются в основном вдоль линейных сооружений и в населенных пунктах.

Распространение оползней и интенсивность их активизаций в пределах Кубанской равнины в значительной степени определяются эрозионной расчлененностью рельефа и литологическим составом делювиально-коллювиальных и делювиально-пролювиальных отложений [6].

Согласно данным Отчетов и [2–7, 9], на изучаемой территории в основном развиты 3 типа оползней с различными механизмами смещений: сдвиги, потоки и комбинированные.

Оползни-сдвиги распространены в нижних частях склонов речных долин и по бортам балок. Причина их образования – эрозионная деятельность постоянных (речная боковая) и временных (овражная) водотоков. Спровоцировать образование оползней этого типа могут также антропогенные подрезки и пригрузки склонов.

Оползни-потоки по генезису гидрогенные и возникают в результате пластических деформаций типа течения без захвата дочетвертичных толщ, как правило, на обводненных глинистых склонах достаточной крутизны. Могут формироваться и в условиях антропогенного влияния, например, в зонах утечек из различных водонесущих коммуникаций. На территории региона получили незначительное развитие.

Комбинированные оползни (с гидрогенным и эрозионно-гидрогенным механизмами смещения) являются самыми крупными (глубина смещения достигает 8–30 м) и образуются в процессе слияния мелких форм различного типа либо самостоятельно в результате захвата дочетвертичных отложений.

Большая часть оползней на территории Кубанской равнины сформировалась как оползни-сдвиги при активном участии боковой эрозии. В результате, часть из них стабилизировалась, а другая изменила механизм смещения на комбинированный с захватом коренных пород (крупные оползни).

На Кубанской равнине зарегистрирована 151 оползневая форма общей площадью 8,72 км^2. Их развитие, согласно Отчетам и [6], приурочено к трем ОЗ региона: Мищенской, Казьминской и Кубано-Зеленчукской (рис. 2, таблица). Общая площадь этих ОЗ, расположенных в пределах Кочубеевского района и западной части городского округа г. Невинномысск, составляет 157,19 км^2, оползневая пораженность – 5,5%.

Таблица 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОПОЛЗНЕВЫХ ЗОН КУБАНСКОЙ РАВНИНЫ
Table 1. Characteristics of landslide zones of the Kuban Plain

Название оползневой зоны	Краткая характеристика оползневой зоны	Площадь зоны, км^2	Количество оползней в зоне, единиц	Площадь оползней в зоне, км^2	Оползневая пораженность, %
Мищенская	Зона ограничена долиной балки Малая Казьма. Только между х. Мищенским и с. Вревским развиваются 24 оползня, из них на правом борту балки 16 оползней, на левом – 8. Катастрофические оползневые смещения отмечались в 1998 г.	17,07	27	3,31	19,4
Казьминская	Зона ограничена долиной балки Большая Казьма и склонами примыкающих к ней балок низшего порядка. Только на склонах балки Большая Казьма развито 44 оползня. На левом склоне развиваются 20 в основном крупных оползней, средняя площадь которых 111,0 тыс. м^2. Оползни правого склона (24 оползневые формы) большей частью приурочены к балкам, примыкающим к основной. Средняя площадь оползней здесь значительно меньше и составляет 57,0 тыс. м^2. В зоне прямого и потенциального влияния расположены хутора Беловский и Васильевский. Региональная активизация оползневых процессов в конце 1988-1989 гг. нанесла большой ущерб многим хозяйственным объектам х. Васильевского	22,97	67	4,08	17,8
Кубано-Зеленчукская	Занимает оба борта долин рек Кубань и Большой Зеленчук. В состав зоны входит и западная часть г. Невинномысск с шестью оползнями, в зону воздействия которых попадают городское кладбище, очистной коллектор шерстомойного комбината и пять частных домовладений. Общая протяженность зоны вдоль этих рек – около 90 км. Значительное распространение получили оползни-сдвиги, развитые на уступах надпойменных террас рек. Их активизация происходит при активном участии речной боковой эрозии	117,15	57	1,33	1,1
Итого по Кубанской равнине		157,19	151	8,72	5,5

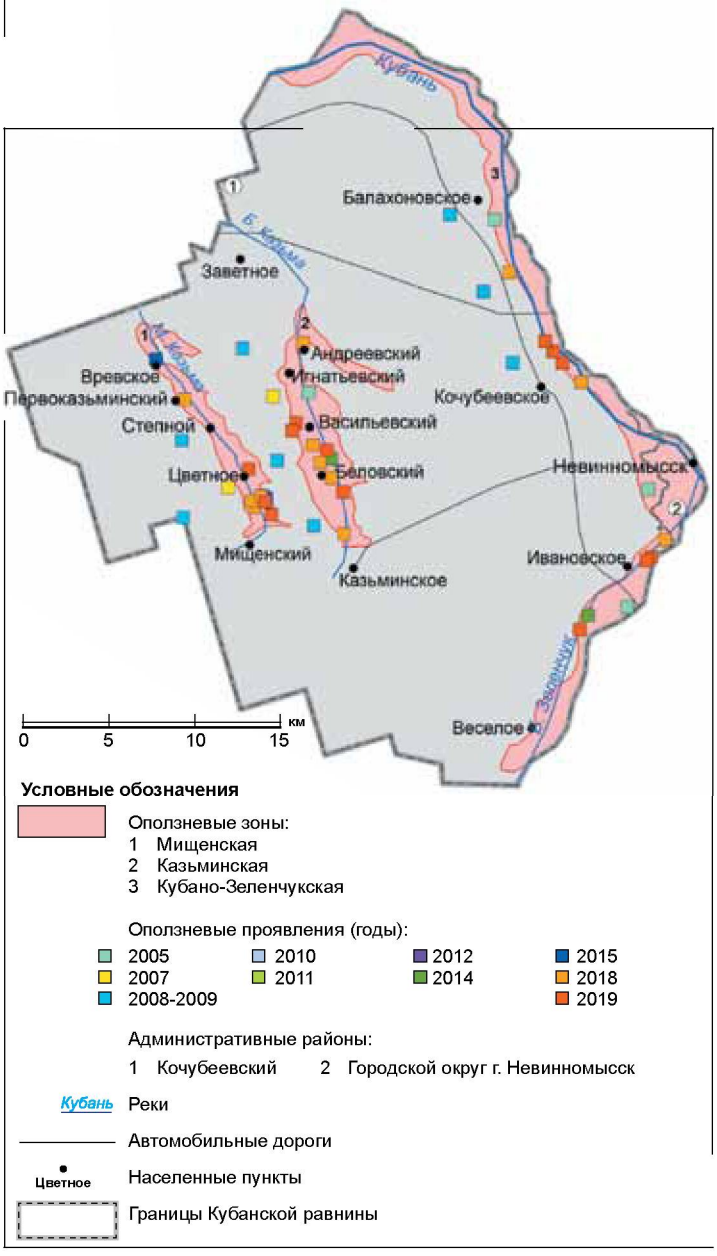


Рис. 2. **Карта оползневых зон Кубанской равнины и местоположения оползневых проявлений**

Fig. 2. Map of landslide zones and manifestations of the Kuban Plain.

Анализ рисунка 2 и таблицы 1 показывает, что наибольшей по площади ОЗ является Кубано-Зеленчукская, но максимальное количество оползневых форм зафиксировано в Казьминской, где также отмечается самая большая площадь, занимаемая оползневыми массивами. Максимальная оползневая пораженность наблюдается в Мищенской ОЗ, минимальная – в Кубано-Зеленчукской.

2. Динамика активизаций в оползневых зонах Кубанской равнины

При характеристике ОЗ и режима активности проявления оползневых процессов Кубанской равнины за последние 15 лет использовались опубликованные данные мониторинговых наблюдений [1–6] и Отчетов. Ниже приводятся результаты проведенного анализа.

С 1999 по 2004 гг. уровень оползневой активности в изучаемом регионе был очень низким. В **2004 г.** в результате выпадения значительного количества осадков в весенний период оползневая активность во всех зонах возросла на 14% (в сравнении с 2003 г.). В результате на южной окраине с. Ивановского (Кубано-Зеленчукская ОЗ) была деформирована часть ул. Набережной, под угрозой разрушения оказался ряд домов. В Казьминской и Мищенской ОЗ из-за возросшей интенсивности воздействия режимообразующих факторов также увеличился рост оползневой активности.

Значительное количество оползнеформирующих осадков, выпавших весной 2004 (190 мм) и 2005 гг. (184 мм), на фоне высокого уровня залегания грунтовых вод обусловило значительную увлажненность грунтов, что привело в **2005** г. к резкому повышению (на 43%) активности оползневого процесса.

Обильные дожди в мае вызвали активизацию эрозионных процессов по берегам рек Кубано-Зеленчукской ОЗ. Было выявлено 30 участков эрозионного размыва (длина – 43,3 км). На двух (в долине р. Большой Зеленчук) боковая эрозия была столь интенсивна, что за короткий отрезок времени (первые десятки дней) водоток полностью эродировал тела оползней до головной стенки. Всего в пределах этой ОЗ было выявлено 25 активных оползней, образования новых не произошло. В апреле-мае на автодороге (а/д) «Невинномысск – Эрсакон» активизация оползневых процессов привела к разрушению ограждения вдоль обочины. Возникла угроза деформации дорожного полотна. В это же время в с. Ивановском оползневые активизации угрожали домам по улицам Набережной (дд. 3, 47, 49, 51, 53, 83, 85) и Юбилейной (д. 1). На западной окраине г. Невинномысска, вдоль берега р. Кубани, воздействию оползневых процессов подверглись земельные участки и хозяйственные постройки по ул. Калинина (дд. 1 и 3). Существовала угроза оползневых деформаций дома по пер. Почтовому.

В Казьминской ОЗ было выявлено 34 активных, преимущественно комбинированных, оползня. На левом склоне долины образовался новый оползень, а на правом произошло слияние двух форм. В апреле-мае в х. Васильевском оползневые массы перекрыли проезжую часть улицы, ведущей к детскому саду и школе. Резко возросла угроза разрушения самих этих объектов.

В Мищенской ОЗ также отмечалось оживление оползневой активности. Из 24 оползней правого и левого склонов активизация была зафиксирована на 10, новых форм не образовалось. По сравнению с 2004 г. площадь активизации возросла в ~2 раза. Деформаций жилых домов и хозяйственных объектов не наблюдалось, однако возникла угроза разрушения участка а/д «Кочубеевское – Мищенский – Заветное» (в районе с. Цветного).

В **2006** г. количество весенних осадков значительно уменьшилось (до 141 мм), что привело к ослаблению оползневой активности.

В Кубано-Зеленчукской ОЗ оползневая активизация, обусловленная эрозионными процессами, наблюдалась в основном в апреле, в период прохождения паводков. Так, в конце месяца произошли смещения грунтовых масс в с. Балахоновском. В результате возникла угроза разрушения дома № 2 по ул. Матросова и трубы газопровода на восточной окраине села. В апреле-мае в с. Кочубеевском деформировался склон у ограждения территории исправительной колонии (на северной окраине). В с. Ивановском сохранялась угроза оползневых деформаций домов по улицам Набережной (дд. 3, 47, 49, 51, 53, 83, 85) и Юбилейной (д. 1). В западной части г. Невинномысска усилились трещинные деформации домов по улицам: Водопроводной (д. 48), Фрунзе (д. 74), Заводской (дд. 59, 61). Существовала угроза разрушения плотины отстойников шерстомойного комбината, а в районе самих отстойников оползневые деформации угрожали линии электропередачи (ЛЭП).

В Казьминской ОЗ оползневая активность снизилась почти вдвое. Образования новых форм не наблюдалось. В х. Васильевском под угрозой возобновления оползневых деформаций находились здания детского сада, школы, четырех домов по ул. Подгорной. Ожидались повторные деформации на старом кладбище.

В Мищенской ОЗ снижение активности по сравнению с 2005 г. составило более 17%. В апреле-мае оползни деформировали полотно а/д «Кочубеевское – Мищенский – Заветное» (между селами Цветным и Казьминским) на двух близко расположенных участках протяженностью 30 и 140 м.

В **2007** г. сумма весенних осадков еще больше уменьшилась (до 80 мм), что обусловило низкий уровень оползневой активности (12–20% нормы).

На территории Кубано-Зеленчукской ОЗ активность оползневых процессов, следуя общей тенденции, также снизилась. В с. Кочубеевском произошел срыв оползня на левом берегу р. Кубани.

В Казьминской ОЗ показатели оползневой активности по сравнению с 2006 г. снизились на левом склоне долины р. Большая Казьма – в 1,8, на правом – почти в 3,8 раза. В х. Васильевском сохранялась уг-

роза деформации здания школы и старого кладбища. В Мищенской ОЗ суммарная площадь оползневой активизации уменьшилась более чем в 2 раза. Полностью приостановились смещения на левом борту долины р. Малая Казьма и снизилась их интенсивность на правом (за исключением локальных участков техногенного воздействия). Осенью, после сентябрьских дождей, на а/д «Кочубеевское – Мищенский – Заветное» (в районе с. Цветного) произошло проседание крупного блока оползня. В результате 140-метровый участок деформировался. Движение продолжилось по одной полосе.

В **2008 г.** количество выпавших весной атмосферных осадков (160 мм) увеличилось вдвое по сравнению с предыдущим годом, однако вследствие инерционности оползневого процесса его активность осталась на низком уровне. Некоторый всплеск активности отмечался в аномально дождливом (168 мм осадков) июне.

На территории Кубано-Зеленчукской ОЗ активизация наблюдалась на пяти участках, в основном в пределах крупных оползней в районе с. Кочубеевского. Образования новых форм и прироста оползневой площади не отмечалось.

В Казьминской ОЗ по сравнению с предыдущим годом существенно уменьшилась интенсивность оползневых смещений и площадь активных форм. Активизация была зафиксирована на 6 оползнях в долине балки Большая Казьма: 5 – на левом склоне, 1 – на правом. Образования новых форм и прироста оползневой площади не фиксировалось.

В Мищенской ОЗ активизация наблюдалась на трех оползнях, а ее суммарная площадь за год сократилась почти на треть. На двух оползнях правого склона произошло снижение интенсивности оползневых смещений и сокращение площади активизации, а на левом активных оползней не фиксировалось. На участке а/д «Кочубеевское – Мищенский – Заветное» (между х. Мищенским и с. Цветным), перенесенной в 2007 г., снова возникла угроза оползневых деформаций полотна.

Весенне-летний сезон **2009 г.** был относительно дождливым, весной выпало 157, а летом – 212 мм осадков, однако оползневая активность осталась на сравнительно низком уровне. Всего на Кубанской равнине было выявлено 11 активных оползней. Основная активизация произошла в Казьминской и Мищенской ОЗ.

В Казьминской ОЗ активизация была очень низкой и наблюдалась только на 3 оползнях. Все они находились на левом склоне долины балки Большая Казьма. Суммарная площадь активизации относительно 2008 г. снизилась еще на четверть. Образования новых форм и прироста площади не фиксировалось. Новых деформаций хозяйственных объектов также не наблюдалось. В х. Васильевском уже в течение многих лет в зоне оползневого риска находились здание школы, около

двух десятков домовладений по ул. Подгорной и кладбище. В Мищенской ОЗ также продолжилось снижение оползневой активности. За последний год суммарная площадь активизации сократилась втрое. Активных оползней на левом склоне долины балки Малая Казьма не наблюдалось. На двух оползнях по правому борту произошло снижение интенсивности оползневых смещений и сокращение площади активизации. В районе перенесенной в 2007 г. а/д «Кочубеевское – Мищенский – Заветное» (около с. Цветного) продолжилось крупноблоковое проседание головной стенки оползня. В результате высокий риск потенциального разрушения проезжей части сохранялся.

Весенне-летний сезон **2010 г.** был аномально дождливым: весной выпало 186, а летом – 204 мм осадков. Значительное количество весенне-летних осадков 2008 и 2009 гг. и исходно активное состояние оползневого процесса в 2010 г. при благоприятном атмосферном увлажнении в весенне-летний сезон привели к значительному насыщению влагой оползневых склонов Кубанской равнины. Превышение нормы осадков третий год подряд явилось основным фактором, вызвавшим значительную активизацию оползневых процессов.

В Кубано-Зеленчукской ОЗ активизация оползневых процессов была выявлена в пределах 12 оползневых форм. В Казьминской ОЗ впервые за последние 5 лет фиксировался существенный рост оползневой активности. Активизация наблюдалась на 15 оползнях долины балки Большая Казьма, в т.ч. 9 из них находились на левом склоне. По сравнению с 2009 г. количество активных оползней возросло в 5 раз, а суммарная площадь активизации – более чем в 4 раза. Существенно увеличилась интенсивность оползневых смещений. Образования новых форм и прироста площади при этом не фиксировалось. Оползневые смещения отмечались на небольших по площади локальных участках, зачастую приуроченных к выходам грунтовых вод у оснований оползневых откосов. В х. Васильевском фиксировались деформации оползневого массива и продвижение его языка в направлении школы. Расстояние между языком и зданием сократилось до 40 м, в связи с чем возросла угроза его разрушения. Активизация оползневого процесса привела к деформации 140 м обочины а/д «Заветное – Казьминское – Кочубеевское», под угрозой находилось полотно.

В Мищенской ОЗ оползневая активность была очень низкой (4,7% от нормы), но по сравнению с 2009 г. суммарная активная площадь увеличилась более чем в полтора раза. Активными были только два оползня, смещения которых привели к деформации 140 м обочины а/д «Кочубеевское – Мищенский – Заветное» (в районе с. Цветного).

В **2011 г.** количество выпавших в весенний период атмосферных осадков (220 мм) было значительно выше среднемноголетних значе-

ний. Такое превышение нормы четвертый год подряд обусловило значительную активизацию оползневых процессов в регионе.

На территории Кубано-Зеленчукской ОЗ активизация оползневых процессов наблюдалась в пределах 6 форм. Несмотря на то, что количество активных оползней зоны за год сократилось наполовину, площадь активизации выросла на порядок. Так, западнее с. Ивановского фиксировался прирост площади одного оползня и слияние двух рядом расположенных форм. Наиболее крупные активизации наблюдались в районе с. Кочубеевского. Деформаций и разрушений здесь не было, но оползневой риск для ряда домовладений по ул. Набережной существенно возрос.

В Казьминской ОЗ активизация была зафиксирована на 13 оползнях. По сравнению с 2010 г. количество активных форм сократилось на 2 ед., но площадь активизации выросла в 1,8 раза, а по сравнению с 2009 г. – более чем в 7 раз. Образования новых оползней в отчетном году не отмечалось, но фиксировался прирост площади на четырех формах. Активизация оползневых процессов привела к деформации 70 м а/д «Кочубевское – Казьминское – Заветное».

В Мищенской ОЗ, как и в прошлом году, активность наблюдалась на двух оползнях. По сравнению с 2010 г. площадь активизации выросла в 3,5, а по сравнению с 2009 г. – в 5,4 раза. При этом в 2011 г. фиксировался существенный прирост (на 10 тыс. м^2) площади оползня, который деформирует а/д «Кочубевское – Казьминское – Заветное». Образования новых форм не отмечалось.

В **2012** и **2013** гг. годовое количество осадков было выше среднемноголетних значений по региону (645 и 648 мм, соответственно) в основном за счет аномальных летних осадков (329 и 277 мм, соответственно), которые не оказали значимого воздействия на процесс оползнеобразования. В 2012 г. произошло резкое уменьшение количества весенних осадков (162 мм), ставшее причиной значительного снижения увлажненности оползневых отложений. В Казьминской ОЗ активизация оползневого процесса, наблюдавшаяся на двух участках а/д «Кочубевское – Казьминское – Заветное», привела к деформации 110 м полотна. Весной 2013 г. количество выпавших осадков (145 мм) еще больше уменьшилось по сравнению с предыдущим годом. В Казьминской и Мищенской ОЗ уровень оползневой активности снизился еще значительнее.

В **2014 г.** на фоне превышения нормы осадков в 2012–2013 гг. и аномального их количества весной 2014 г. (243 мм) произошел всплеск оползневой активности. На Кубанской равнине было выявлено 43 активных формы. В Кубано-Зеленчукской ОЗ оползни деформировали 12 м а/д «Ивановское – Веселое – Эрсакон». В Казьминской ОЗ ливневые дожди, выпавшие с конца апреля до конца второй декады мая, спо-

собствовали резкому ускорению смещений и приросту оползневой площади. 13–14 мая 2014 г. южнее х. Васильевского (на левом склоне долины р. Большая Казьма) в результате активизации большого оползневого массива (площадь – 417 тыс. м^2) произошел выход грунтовых масс на а/д «Кочубеевское – Васильевский – Андреевский», которая оказалась перекрыта на участке протяженностью около 200 м (рис. 3). Прирост площади оползневого массива во время активизации составил 109 тыс. м^2. В конце мая – начале июня в х. Васильевском наблюдалась активизация крупного оползневого массива (объем – 1,5 млн. м^3, площадь – 101,7 тыс. м^2). Возникла угроза деформаций здания школы и автодороги. Расстояние от языка оползня до угла здания составляло 55 м, а до дороги над ним – около 30 м. После приостановки смещений в июле 2014 г. угроза возможных деформаций здания снизилась. В это же время активными оползневыми подвижками было деформировано 30 м а/д «Кочубеевское – Мищенский – Заветное».

В **2015 г.** на фоне благоприятного для оползнеобразования атмосферного увлажнения предыдущих лет, сравнительно дождливых последних месяцев весны и аномально дождливого июня (124 мм) активность оползневого процесса осталась на уровне 2014 г. На Кубанской равнине было выявлено 45 активных форм. В Мищенской ОЗ в результате активизации было деформировано 20 м а/д «Заветное – Мищенский – Кочубеевское», в с. Вревском произошло усиление деформации автодороги по ул. Гагарина.

В **2016 г.** оползневая активность в регионе достигла низких значений, несмотря на то, что год выдался наиболее дождливым за последние 20 лет (738 мм). В весенне-летний период выпало 77% годового количества осадков. В Казьминской ОЗ площадь двух активных проявлений составила 50 и 42 тыс. м^2.

Увеличение оползневой активности в **2017 г.** было вызвано переувлажнением оползневых отложений за предшествующий год и рекордным за последние 50 лет количеством июньских осадков (170 мм). В результате по рекам прошли паводки, сопровождавшиеся эрозионным размывом берегов.

Средняя активность оползневого процесса отмечалась в Кубано-Зеленчукской ОЗ. В районе с. Балахоновское наблюдалось два активных оползня: язык первого (площадь – 1,4 тыс. м^2) эродировался р. Кубань, отмечались деформации и уничтожение деревьев; второй (площадь – 2,0 тыс. м^2, мощность – до 7 м) был активен на всей площади. В с. Кочубеевском оползневые процессы активизировались на 4 участках: на СЗ окраине села язык оползня (стенка отрыва в головной части – до 5 м) эродировался р. Кубань; на втором участке оползень угрожал жилым домам по ул. Набережной, в его правом борту отмечалось

Рис. 3. **Участок дороги «Кочубеевское – Васильевский – Андреевский», перекрытый оползневыми массами, 2014 г. Фото ТЦ ГМСН по Ставропольскому краю.**

Fig. 3. Site of the"Kochubeevskoe Vasilievskiy Andreevskiy" highway blocked by the landslide, 2014. Photo by Territorial Centre for State Monitoring of Subsurface State in the Stavropol Krai.

крупное блоковое смещение (площадь – 140 м^2); на третьем оползне (площадь – 55,0 тыс. м^2), образовавшемся на ЮВ окраине села, стенка отрыва в головной части достигала 3 м, а язык размывался р. Кубань, как и на четвертом участке (площадь – 6,0 тыс. м^2).

В Казьминской ОЗ оползневые процессы активизировались в с. Казьминском. Небольшие по размеру подвижки угрожали ферме, дорогам. На территории х. Беловского активизировалась головная часть оползня (размеры 320 × 130 м). В Мищенской ОЗ наблюдалась одна активная форма (площадь – 300 м^2) со стенкой отрыва до 20 см.

Сумма осадков в **2018 г.** была ниже среднемноголетнего уровня. Фактором, оказавшим существенное влияние на ход оползневого процесса, послужил режим их выпадения. Так, мартовские осадки превысили норму почти в 3 раза (139 мм – рекордный показатель с 1951 г.). Поскольку они выпали в период, когда температуры воздуха не способствовали интенсивному испарению, а травяной покров еще не сформировался, значительная их часть пошла на инфильтрацию в оползневые отложения и оказала существенное влияние на повышение активности оползней, которая в 2018 г. была на уровне среднемноголетних значений.

На территории Кубано-Зеленчукской ОЗ активно протекала боковая эрозия. Так, в СВ части с. Ивановского на трех участках наблюдались оползневые деформации левого борта р. Большой Зеленчук: над первым (площадь – 1,2 тыс. м^2) находились две ЛЭП, существовала угроза повреждения их опор; второй (площадь – 600 м^2) и третий (площадь – 1,6 тыс. м^2) угрожали грунтовой дороге, обеспечивающей проезд к жилым домам по ул. Набережной. Южнее с. Балахоновского на двух участках наблюдались оползневые деформации (площадь – 2,6 и 6 тыс. м^2) берегового откоса с уничтожением деревьев. Факторами активизации здесь явились атмосферные осадки, боковая эрозия р. Кубань, увлажнение грунтовыми водами (у основания стенки отрыва находился родник). В районе с. Кочубеевского на пяти участках (площадь – 1,5; 2,0; 3,8; 23,0; 26,0 тыс. м^2) фиксировались деформации левобережного откоса р. Кубань. Существовала угроза разрушения жилых домов по ул. Набережной (дд. 136, 180) и подсобных сооружений домовладения по ул. Луговой.

На территории Казьминской ОЗ фиксировалось 15 активных оползней. В районе х. Васильевского наблюдались смещения (суммарная площадь – более 45,0 тыс. м^2) на склоне, в результате чего возникла угроза повреждения школы, более 10 домовладений, подземной линии газопровода, дамбы пруда и автодорог («Кочубеевское – Васильевский», «Казьминское – Васильевский – Андреевский»). Наблюдались деформации на трех участках (площадь – 2,4; 19,0; 15,0 тыс. м^2) на левом склоне долины р. Большая Казьма и на старом кладбище хуторов Васильевского и Беловского. Также фиксировались смещения на четырех участках (площадь – 5,4; 5,4; 14,0; 13,0 тыс. м^2) по правому склону долины р. Большая Казьма. Южнее х. Игнатьевского в результате активизаций (площадь – 9,5 тыс. м^2) возникла угроза деформации дамбы пруда.

В Мищенской ОЗ, севернее х. Мищенского, наблюдались оползневые деформации (площадь – 3,7 тыс. м^2) правого склона долины р. Малая Казьма. Между х. Мищенским и с. Цветным отмечались смещения (площадь – 36 тыс. м^2) по левому борту долины р. Малая Казьма, возникла угроза уничтожения пруда под языком оползня. Южнее с. Цветного также фиксировалась оползневая деформация левого борта, а на правом оползневые подвижки наблюдались восточнее х. Первоказьминского, СВ с. Цветного и ЮВ х. Степного.

В **2019 г.** сумма выпавших осадков была наиболее низкой за последние 12 лет. Незначительное их количество весной (127 мм) и летом (161 мм) не способствовали переувлажнению грунтов, однако влага, накопленная в предыдущие годы, обусловила значительную оползневую активность. В Кубано-Зеленчукской ОЗ с апреля по август подвижки наблюдалась в селах Кочубеевском и Ивановском. Так, в с. Ко-

чубеевском происходила активизация трех оползней на левом берегу р. Кубани. Незначительные смещения (в голове оползня и верхней части зоны транзита) на первом оползне (площадь – 45,4 тыс. м^2) угрожали жилым домам по ул. Набережной (дд. 136а, 180). Площадь активных участков составила 9,1 тыс. м^2. Второй оползень (площадь – 65,9 тыс. м^2) был активен в центральной части и в нижней половине зоны транзита (язык оползня эродировался р. Кубань). Суммарная площадь участков активизации составила 9,9 тыс. м^2 (15% от всей площади). Существовала угроза разрушения жилых домов по ул. Набережной. В зоне активизации головной части третьего оползня (площадь – 34,1 тыс. м^2) находился огород по ул. Набережной. Площадь участка активизации составила 5,1 тыс. м^2.

В с. Ивановском активными также были три оползня: результатом активизации первого (площадь – 7,2 тыс. м^2) стали смещения средней интенсивности на левом берегу р. Большой Зеленчук, площадь участка активизации – 1,8 тыс. м^2; на втором (площадь – 1,5 тыс. м^2) отмечались пластические смещения у основания откоса, площадь участка активизации – 750 м^2; активность на третьем (площадь – 8,0 тыс. м^2) проявилась в смещениях средней интенсивности на локальных участках в оползневых откосах и у их основания, отмечались трещины растяжения вне оползня, площадь активизации – 1,6 тыс. м^2.

В Казьминской ОЗ, в 0,6 км восточнее х. Беловского, наблюдались смещения (площадь – 4,3 тыс. м^2) средней интенсивности, проявившиеся на локальных участках в зоне транзита активного большого оползня (площадь – 86,3 тыс. м^2). В октябре в х. Васильевском произошла активизация на пяти массивах. На первом (площадь – 408,1 тыс. м^2) наблюдались смещения небольшой интенсивности в откосе вдоль левого борта. Площадь активизации составила 3,0 тыс. м^2. На втором (площадь – 426,4 тыс. м^2) наблюдались смещения в голове и верхней части зоны транзита на участке 250×100 м. Смещения (площадь – 4,0 тыс. м^2) небольшой интенсивности наблюдались на локальном участке в головной части у правого борта третьего оползня (площадь – 319,6 тыс. м^2). На четвертом массиве (площадь – 199,8 тыс. м^2) фиксировалось проседание крупных оползневых блоков на локальных участках в голове, а также смещения в откосах в верхней части зоны транзита. Площадь активизации составила 6,0 тыс. м^2. Активизация на пятом оползне (площадь – 63,2 тыс. м^2) происходила в его головной части и в верхней части зоны транзита. Площадь активизации составила 6,3 тыс. м^2.

В Мищенской ОЗ, в 1,0 км севернее х. Мищенского, в результате переувлажнения склона (утечка воды из порванного водовода) произошла активизация головной части оползня (площадь – 52,8 тыс. м^2), пло-

щадь которой составила 1,6 тыс. м^2. Между х. Мищенским и с. Цветным на большом оползневом массиве (площадь – 753,6 тыс. м^2) произошло проседание крупных блоков на двух участках площадью 4,5 тыс. м^2. В 0,5 км СВ с. Цветного на крупном оползне (площадь – 442,2 тыс. м^2) отмечались смещения малой интенсивности в голове и в верхней половине зоны транзита. Площадь активизации составила 26,0 тыс. м^2.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили оценить условия и причины образования оползней, масштабы и характер их активизации на территории Кубанской равнины (в границах Ставропольского края). На режим оползневой активности оказали влияние в основном природные факторы (атмосферные осадки и боковая эрозия). Активизация оползневых процессов вследствие техногенных воздействий на геологическую среду наблюдалась в некоторых населенных пунктах региона и вдоль линейных сооружений.

За последние 15 лет благодаря режимным наблюдениям была установлена степень активности оползневых процессов в разных ОЗ Кубанской равнины. Результаты анализа динамики активизации оползней свидетельствуют об их преобладающем развитии в Казьминской ОЗ.

Значимые оползневые подвижки за изучаемый период отмечались в 2005, 2010, 2011, 2014, 2015, 2018 гг. В целом, в сельской местности региона активность оползневых процессов и уровень их воздействия на объекты инфраструктуры за 2005–2019 гг. не были такими значительными, как, например, за аналогичный период в г. Ставрополе [8], но опасные и угрожающие ситуации в отдельных населенных пунктах и на объектах экономики региона возникали неоднократно.

По результатам исследования выявлены наиболее подверженные оползневым процессам населенные пункты региона, приведены сведения о масштабах произошедших разрушений и деформаций жилых домов и хозяйственных объектов.

К сожалению, отсутствие материалов крупномасштабной оползневой съемки и карт (координат) точного местоположения основных оползневых массивов в пределах Кубанской равнины не позволяет в настоящее время представить полную картину развития оползневых процессов (с оценкой степени их опасности) на изучаемой территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доклады «О состоянии окружающей среды и природопользовании в Ставропольском крае в 2006–2018 гг.». Ставрополь: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края, 2007–2019.

2. Информационные бюллетени о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2004–2018 гг. Вып. 28–42. М.: ООО «Геоинформмарк», 2005–2019.
3. Информационные бюллетени о состоянии недр территории Северо-Кавказского федерального округа Российской Федерации за 2015–2018 гг. Вып. 12–15. Ессентуки: ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2016–2019.
4. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации (по кварталам) за 2007–2019 гг. М.: ФГБУ ГМСН «Гидроспецгеология», 2007–2019.
5. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Северо-Кавказского федерального округа (по кварталам) за 2006–2019 гг. Ессентуки: ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2006–2019.
6. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Ставропольского края за 2005 г. Вып. 10. Железноводск: ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2006. 211 с.
7. Одер И.В., Дмитриева Е.В. Потенциальные источники чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Ставропольского края. Ставрополь: Краевые сети связи, 2006. 88 с.
8. Разумов В.В., Богданов М.И., Богданова Н.Д., Братков В.В., Разумова Н.В. Динамика оползневой активизации в городе Ставрополе // ГеоРиск. 2019. Т. XIII. № 4. С. 32–46.
9. Разумов В.В., Лиховид А.А., Харин К.В. Распространение и опасность проявления оползневых процессов на территории Ставропольского края // Геоморфология. 2017. № 3. С. 16–29.
10. Официальный сайт Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации – мировой центр данных. [Электронный ресурс]. URL: www.meteo.ru (дата обращения: 10.05.2020)

References

1. Reports “On the environment state and nature management in the Stavropol Krai in 2006–2018”. Stavropol: Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of Stavropol Krai, 2007–2019. (in Russ).
2. Information bulletins on the state of mineral resources in the Russian Federation in 2004–2018. Issues 28–42. Moscow: “Geoinformmark” LLC, 2005–2019. (in Russ).
3. Information bulletins on the state of mineral resources on the territory of the North Caucasian Federal District of the Russian Federation for 2015–2018. Issues 12–15. Essentuki: South Reginal Center for the State Monitoring of Mineral Resources State FSBI “Hydrospetsgeologiya”, 2016–2019. (in Russ).
4. Information bulletins on manifestations of exogenous geological processes in the Russian Federation (by quarters) in 2007–2019. Moscow: State Monitoring of Mineral Resources State FSBI “Hydrospetsgeologiya”, 2007–2019. (in Russ).

5. Information reports on the manifestations of exogenous geological processes on the territory of the North Caucasus Federal District (by quarters) in 2006–2019. Essentuki: South Reginal Center for the State Monitoring of Mineral Resources State FSBI "Hydrospetsgeologiya", 2006–2019. (in Russ).
6. Information bulletin on the state of the geological environment on the territory of the Stavropol Krai for 2005. Issue 10. Zheleznovodsk: South Reginal Center for the State Monitoring of Mineral Resources State FSBI "Hydrospetsgeologiya", 2006. 211 p. (in Russ).
7. Oder I.V., Dmitrieva E.V. Potential sources of emergency situations of natural character in the Stavropol Krai. Stavropol: Kraevye sety svyazi. (in Russ.).
8. Razumov V.V., Bogdanov M.I., Bogdanova N.D., Bratkov V.V., Razumova N.V. Dynamics of landslide activation in the city of Stavropol // GeoRisk World. 2019. Vol. XIII. No. 4. P. 32–46. (in Russ.).
9. Razumov V.V., Likhovid A.A., Kharin K.V. Spatial distribution and risk of landslides in Stavropol Krai // Geomorfologiya. 2017. No. 3. P. 16–29. (in Russ.).
10. The official site of the All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – the World Data Center. [Electronic source]. URL: www.meteo.ru (accessed: 10 May 2020). (in Russ.).

Поступило в редакцию 12.08.2020,
принята к публикации 01.09.2020

Сведения об авторах

Разумов Виктор Владимирович, доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева». ScopusID: 57191515724.
E–mail: razumov_vv@mail.ru

Богданова Наталья Дмитриевна, инженер ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве».
E–mail: b123458@hotmail.com

Висхаджиева Карина Сайдовна, инженер лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. ScopusID: 57195310882, ResearcherID: D–8950–2019.
E–mail: viskhadzhieva@geogr.msu.ru

About the authors

Razumov Viktor Vladimirovich, Doctor of Science in Geography, professor, leading research scientist of the Dokuchaev Soil Science Institute RAAS. ScopusID: 57191515724. E–mail: razumov_vv@mail.ru.

Bogdanova Natalia Dmitrievna, engineer of the "Russian Geotechnical Institute" LLC. E–mail: b123458@hotmail.com

Viskhadzhieva Karina Saidovna, engineer of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. ScopusID: 57195310882, ResearcherID: D–8950–2019.
E–mail: viskhadzhieva@geogr.msu.ru

25.00.24
УДК 911.3:316.485.26

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

Супрунчук И.П. Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия ilia_suprunchuk@mail.ru

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ПОДХОД И СОВРЕМЕННЫЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В МИРЕ

Введение: терроризм молод как объект научного изучения, при этом оказывает влияние на развитие общества с XIX века. В его развитии сочетаются социальные, идеологические, религиозные, этнические, психологические компоненты. Он имеет много схожих черт с другими формами насилия и протеста: военными конфликтами, диверсиями и т.п. Необходимо определить позиции, в которых географический подход в исследовании терроризма будет продуктивен и актуален.

Материалы и методы исследований: Статистической базой исследования являются данные Global Terrorism Database, разработанные научной правительственной организацией США The National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism. Терроризм рассматривается как общественно-территориальная система, для его географического изучения применена концепция территориальных структур.

Результаты исследований и их обсуждение: Определены методологические основы для географического изучения терроризма. На основе разработанного интегрального показателя интенсивности террористической деятельности выделены шесть мировых террористических регионов. Исследованы их региональные черты, заключающиеся в историко-географических особенностях, различиях качественных и количественных показателей террористической деятельности.

Выводы: терроризм и террористическая деятельность могут выступать объектом географических исследований. На глобальном уровне, выделяется шесть террористических регионов, обладающих разным набором специфических черт и особенностей.

Ключевые слова: террористическая деятельность, география терроризма, территориальная структура, региональные особенности.

Ilya P. Suprunchuk North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia
ilia_suprunchuk@mail.ru

Geographical Approach and Modern Regional Features of Terrorist Activity in the World

Introduction: terrorism is young as an object of scientific study, but it has influenced the development of society since the XIX century. Its development combines social, ideological, religious, ethnic, and psychological components. It has many similarities with other forms of violence and protest: military conflicts, diversions, etc. It is necessary to determine the positions in which the geographical approach in the study of terrorism will be productive and relevant.

Materials and methods of the research: the statistical base of the study is the Global Terrorism Database, developed by the government research organization The National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism. Terrorism is considered as a socio-territorial system, and the concept of territorial structures is applied to its geographical study.

The results of the research and their discussion: the methodological basis for the geographical study of terrorism is defined. Based on the developed integral indicator of the intensity of terrorist activity, six world terrorist regions are identified. Their regional features, consisting in historical and geographical features, differences in qualitative and quantitative indicators of terrorist activity, are studied.

Conclusions: terrorism and terrorist activities may be the subject of geographical research. At the global level, there are six terrorist regions that have a different set of specific features and features.

Keywords: terrorist activity, geography of terrorism, territorial structure, regional features.

ВВЕДЕНИЕ

Терроризм как объект научного изучения достаточно молод. Он оказывает влияние на развитие общества с XIX века, однако посвященные ему научные работы появляются лишь во второй половине XX века. К тому же, терроризм как явление очень сложен и многогранен. В нем в различной степени сочетаются социальные, идеологические, религиозные, этнические, психологические компоненты. В результате он стал объектом изучения юридических, политических и социальных наук, которые пытаются понять и объяснить возникновение и существование этого явления. Терроризм имеет много схожих черт с другими формами насилия и протеста: военными конфликтами, диверсиями и т.п., что также усложняет его самостоятельное изучение.

На научном поле изучения терроризма много игроков, и необходимо сформулировать специфику географической науки в этом вопросе. Поэтому необходимо определить позиции, в которых географический подход в исследовании терроризма будет продуктивен и актуален.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Серьезный научный подход к вопросу мониторинга террористической деятельности реализован в ресурсе Global Terrorism Database, разработанном научной правительственной организацией США The National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism [1]. Здесь собрана наиболее полная база данных о террористических актах во всем мире, начиная с 1970 года. Содержатся подробные данные о более чем 150 000 инцидентах террористического характера. В наличие имеется развитый поисковый инструментарий, позволяющий составлять уникальные поисковые запросы и получать соответствующую информацию. При изучении общемировых и макрорегиональных особенностей террористической деятельности используются статистическая информация именно этой международной базы данных.

В данной работе терроризм рассматривается как общественно-территориальная система. Для ее географического осмысления используется концепция территориальных структур, предложенная И.М. Майергойзом [2] и разрабатываемая в дальнейшем П.М. Поляном и А.И. Трейвишем [3]. Пространственно-временная структура террористической деятельности на глобальном уровне описана с помощью метода районирования и выделения соответствующих террористических районов. Террористическое районирование мира представляет собой частное районирование, в основе которого лежит авторский интегральный показатель интенсивности террористической деятельности. Он, в свою очередь, рассчитан как средний ранг каждой страны мира по следующим статистическим и расчетным показателям:

1. Общее число террористических актов в стране;
2. Общее число жертв террористических актов в стране;
3. Среднее количество жертв за 1 теракт;
4. коэффициент специализации по числу терактов относительно площади страны;
5. Коэффициент специализации по числу терактов относительно численности населения страны;
6. Коэффициент специализации по числу жертв терактов относительно площади страны;
7. Коэффициент специализации по числу жертв терактов относительно численности населения страны.

На его основе выделены страны с высоким, средним и низким уровнем интенсивности террористической деятельности, которые в совокупности с внутренними особенностями террористической деятельности формируют высшую таксономическую единицу районирования – террористический регион.

Террористический регион – единая территория, характеризующаяся общностью сложившихся особенностей террористической деятельности: преобладающих видов и форм, идеологии, тактики деятельности террористических группировок. В свою очередь, террористический регион имеет внутреннюю трехчленную структуру, определяемую интегральным уровнем интенсивности террористической деятельности, в которой выделяются следующие элементы:

а) I зона – территория с высокой интенсивностью террористической деятельности (показатель среднего рейтинга от 1 до 50);

б) II зона – территория со средней интенсивностью террористической деятельности (показатель среднего рейтинга от 51 до 100);

в) III зона – территория с низкой интенсивностью террористической деятельности (показатель среднего рейтинга более 100).

Кроме того, в отдельных регионах выделяются подзоны – территории, географически отдаленные от основной зоны, отличающиеся от нее по некоторым признакам, но характеризующиеся высоким уровнем интенсивности террористической деятельности.

В рамках зон выделяется следующий таксономический элемент – страна, который, как правило, географически совпадает с границами конкретного государства. В стране выделяются более мелкие таксономические единицы – террористические районы. Под террористическим районом нами понимается единая часть территории страны, обладающая общими чертами террористической деятельности и выделяющаяся интенсивностью террористических действий. Как страна, так и террористический район также могут быть дифференцирован на три элемента структуры (зоны), в зависимости от степени интенсивности и характера террористической деятельности. Наконец, наименьшей единицей таксономического ряда выступает террористический центр – локальный населенный пункт, в котором проявляется террористическая деятельность.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Географические основы изучения терроризма

Считается, что современная география – наука, изучающая все многообразие процессов и явления, их генезис, структуру, эволюцию, морфологию [4]. Сущность географического подхода характеризуется в географической науке многообразием мнений и взглядов. По мнению Э.Б. Алаева, сущность географического подхода отражена в четырех принципах: геоториальность (территориальность), комплексность, конкретность и глобальность [5]. В современной географической науке сложилось представление о географическом подходе как «общенаучном методе, сочетающем при анализе любой территории два требования: учёт пространства и комплексность» [6].

Принцип комплексности в географическом подходе связан с изменчивостью факторов развития какого-либо географического явления, и, следовательно, с оценкой степени влияния и взаимообусловленности этих факторов и их сочетаний. Терроризм, представляя собой сложное социально-политическое явление, имеет как минимум четыре группы факторов: геокультурполитические, психологические, религиозные и социально-экономические [7]. Понятие «террористической деятельности» широкое, и включает в себя организационно-финансовую подготовку терактов, вербовку, и непосредственное проведение террористических актов.

Принцип комплексности состоит так же и в том, чтобы географическое явление имело качественную интегральную оценку. Для географического изучения терроризма была разработана система абсолютных и относительных показателей, интегральной оценки терроризма на конкретной территории. К абсолютным показателям относятся число террористических актов и их жертв. Несмотря на простоту, эти показатели позволяют судить о территориальном размещении терроризма в исследуемом регионе. Однако, чтобы говорить о географических особенностях терроризма, необходимо рассмотреть и относительные показатели, в частности количество терактов на 100 тыс. населения, количество жертв терактов на 100 тыс. населения, среднее число жертв за 1 теракт, площадь территории, приходящейся на 1 теракт. Число жертв терактов на 100 тыс. населения характеризует величину демографических потерь населения региона. Среднее число жертв за 1 теракт является опосредованным показателем масштабов совершаемых терактов. Его максимальная величина, говорит о большом масштабе потерь в результате терактов, при небольшом их количестве. На-

личие нескольких групп показателей терроризма позволяет провести его интегральную оценку.

Принцип глобальности географического подхода в отношении терроризма и террористической деятельности также работает. По мнению Ю.Н. Гладкого, терроризм входит в одну из 6 групп глобальных проблем человечества и относится к проблемам смешанного характера, которые могут приводить к массовой гибели людей [8].

Таким образом, террористическая деятельность и терроризм соответствуют общегеографическим критериям для включения их в круг исследуемых географических объектов. В современной географической науке наиболее развивающейся теоретико-методологической основой является геосистемный подход. Его сущность заключается в использовании категории «геосистема» как интегрального объекта изучения географической науки, имеющего как природную, так и социально-экономическую, или общественную, составляющие. Это понятие является действительно универсальным и может считаться общим по отношению к конкретным природно-территориальным и общественно-территориальным системам [9].

С этой точки зрения, мы можем рассматривать терроризм как общественную территориальную систему. Для дальнейшего географического осмысления этой системы необходимо определить конкретную концепцию или парадигму социально-экономической географии. В данной работе таковой стала концепция территориальных структур, предложенная И.М. Майергойзом и разрабатываемая в дальнейшем П.М. Поляном и А.И. Трейвишем.

В основе этой концепции лежит понятие «системности» и системного подхода, как общеметодологической составляющей географического исследования. Системный подход, основоположниками которого выступали Л. фон Берталанфи, А. А. Богданов, Г. Саймон, П. Друкер и А. Чандлер, позволяет представить методологически объект исследования как целостное множество отдельных элементов и совокупность взаимосвязей между ними. Он представляет любой изучаемый объект в виде системы – набора связанных элементов, покомпонентное изучение которых дает представление о целом. В большинстве наук и научных направлений такой подход получил широкое распространение, и занял одну из ведущих ролей в современной научной парадигме.

Центральным местом системного подхода выступает понятие «системы». В общем виде систему можно определить как «множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство» [10]. Очевидно также, что необходимо выделение критериев, удовлетворив которые, той или иной объект может рассматриваться как система. В нашем слу-

чае необходимо ответить на вопрос: можно ли считать терроризм системой с научной точки зрения?

Среди критериев целостных систем принято выделять следующие наиболее важные:

1. Функциональность. Заключается в наличие у системы образующей функции и цели. Проще говоря – для чего служит данная система и к какому результату стремится. В данном случае террористическая система выполняет функцию средства насильственного влияния на процессы в обществе, конечной целью будет являться решение тех или иных политических, социальных проблем [11].
2. Целостность. Система есть абстрактная сущность, обладающая целостностью и определенная в своих границах [12]. Целостность системы означает, что каждый элемент вносит свой вклад в реализацию функции системы. Являясь одной из важнейших характеристик полноценной системы, понятие «целостности» террористической системы обоснованно вызывает несколько вопросов.

Главная проблема заключается в том, что основные элементы предполагаемой системы могут выступать элементами и других систем. К примеру, методы организации террористической деятельности не являются уникальными в рамках террористической системы, они включаются и в такие условные системы как «партизанская война», «диверсионная деятельность» и некоторые другие. Такая же ситуация складывается с идеологической базой терроризма – любая террористическая группировка может быть рассмотрена как радикальное, «крайнее» продолжение той или иной политической силы. В результате может возникнуть ложное предположение об искусственности террористической системы, ввиду «междисциплинарности» составляющих ее элементов.

По нашему мнению, террористическая система является целостной системой. Она характеризуется междисциплинарным составом компонентов, что определяет ее место на стыке, «перекрестии» многих социальных и политических систем общества. В этой связи особую важность приобретает вопрос определения границ данной системы, ее отмежевания от других близких по сути систем.

3. Важнейшим свойством любой системы является ее эмерджентность. Под ней в широком смысле понимается наличие у системы особых свойств, не присущих ее подсистемам и блокам по отдельности,

а также несводимость свойств системы к сумме свойств ее компонентов [13]. Террористическая система в этом контексте выступает «качественным сплавом» различных форм политического насильственного протеста в обществе. Главным эмерджентным свойством такой системы является эффективное создание в обществе социально-политической нестабильности, невозможное с помощью отдельных элементов, входящих в террористическую систему.

4. Автономность и интегрированность. Террористическая система является открытой, т.е. системой, которую нельзя считать закрытой по отношению к окружающей среде в каком-либо аспекте – информационном, вещественном, энергетическом [14]. Такая система обменивается с внешней средой (суперсистемой) различными потоками. В случае террористической системы суперсистемой является государство и общество, а в виде потоков выступают – финансовые и материальные средства, идеологические концепции, человеческие ресурсы. Причем направления этих потоков достаточно сложны и неоднозначны, что позволяет говорить о достаточной степени интеграции террористической системы с внешней средой.

При этом рассматриваемая система обладает автономностью, которая подразумевает, что системообразующая функция реализуется преимущественно в рамках системы и опирается главным образом на внутренние источники [15]. Для открытых систем, какой является и террористическая система, с их неотъемлемой внешней средой автономность всегда относительна.

5. Очень важным свойством систем является их функциональная устойчивость при взаимоотношении с внешней средой. Устойчивость характеризует динамическое равновесие системы (на контакте с суперсистемой) именно как целостной совокупности компонентов. Говоря о ней, следует различать две противоречивых стороны [16]:

— способность системы сохранять устойчивость своего развития вопреки тем или иным воздействиям среды;
— адаптивность, то есть способность систем перестраиваться, приспосабливаться к изменяющимся внешним условиям, не поступаясь при этом наиболее для себя существенными качествами.

С этой точки зрения, террористическая система достаточно устойчива. Она способна как поддерживать длительное время свое функциональное состояние, так и быстро адаптироваться к мерам противодействия со стороны властей.

Таким образом, терроризм представляет собой сложную систему открытого типа. Эта система обладает всеми соответствующими при-

знаками. При этом «слабое» место в идентификации террористической системы находится в ее лимитации и отмежевании от схожих систем.

Использование системного анализа предполагает рассмотрение, как минимум, следующих аспектов существования любой системы:

1. Системно-элементный аспект, заключающийся в выявлении элементов, составляющих данную систему;
2. Системно-структурный аспект, заключающийся в выяснении внутренних связей и зависимостей между элементами системы и позволяющий получить представление о внутренней организации исследуемой системы;
3. Системно-функциональный аспект, предполагающего выявление функций для выполнения которых созданы и существуют соответствующие системы;
4. Системно-целевой аспект, означающий необходимость определения целей и подцелей системы, их взаимной увязки между собой;
5. Системно-ресурсный аспект, заключающийся в выявлении ресурсов, требующихся для функционирования системы;
6. Системно-коммуникационный аспект, базирующийся на необходимости выявления внешних связей системы с другими системами, т.е. ее связей с окружающей средой.

В рамках системно-структурного подхода, и исходя из того, что терроризм удовлетворяет большую часть требований к нему как системе, представляется необходимым определить место и состав этой системы. При этом схема такой системы может рассматриваться как в абстрактном виде, так и конкретно на примере какой-либо террористической группировки. Системно-структурный подход, позволяет рассмотреть терроризм как сложную открытую систему, состоящую из нескольких типов структур.

Террористическая система занимает место на стыке двух социально-политических суперсистем – «государства» и «общества» (рис. 1). Эти две суперсистемы связаны между собой многочисленными связями, на которых формируются более мелкие, специализированные системы. Как правило, они функционируют, реализуя какие-либо стороны, аспекты *взаимодействия между обществом и государством.* К примеру, системы образования, здравоохранения, социального обеспечения проистекают из базовых запросов общества к государству и государственных гарантий, которые оно предоставляет своим гражданам.

Рис. 1. **Структурирование системы террористической деятельности.**
Fig. 1. Structuring the system of terrorist activities.

С этой точки зрения, терроризм – это социально-политическая система связи между обществом и государством, своеобразный аварийный канал, который является индикатором кризисных процессов в отношениях двух суперсистем, с которыми он связан вертикальными (субординационными) связями. При этом, на одном с ним иерархичном уровне находится большое число других систем. С некоторыми из них террористическая система связана горизонтальными связями, причем с большей частью из них они могут и отсутствовать вовсе. Есть также системы, которые условно можно назвать «кон-

курентами» террористической системы. Они также как и террористическая система являются отражениями социально-политических конфликтов в обществе, но отличаются методами, инструментами и стратегиями своей реализации.

Так, политический конфликт может протекать в рамках разных систем – официальные мирные политические формы взаимодействия (электоральная система, парламент, система профсоюзного движения и т.д.), а также в более радикальных, нелегальных или частично легальных системах (сепаратизм, радикализм, криминальные организации). К последним как раз и возможно отнести террористическую систему. При различных условиях возможно протекание одного и того же конфликта через террористическую систему ее «конкурентов», а также их взаимопроникновение. Одним из ярких таких примеров является «ирландский вопрос» в Великобритании. Ведущая сепаратистская организация Ирландская республиканская армия (ИРА) за последние почти 100 лет несколько раз меняла преобладающую систему для реализации конфликта [17].

Сама террористическая система состоит из двух видов структур: атрибутивных и функциональных. Функциональные структуры представляют собой формы и механизмы, через которые осуществляется и постоянно поддерживается деятельность террористической системы. Функциональных структур, по нашему мнению, выделяется 6 видов.

1. Политическая структура представляет собой совокупность легальных средств политической борьбы – политических партий и лидеров, систему определенных требований. Террористические группы в своем большинстве не имеют такой структуры, так как являются незаконными формированиями. Однако есть примеры успешного функционирования таких структур – Ирландская республиканская армия (ИРА) в Ирландии, ЭТА в Испании, Хезболла – в Ливане. Теоретически, при приоритетной роли этой структуры террористическое движение может превратиться в политическое. Через эту структуру терроризм взаимосвязан с другими явлениями, такими как экстремизм, сепаратизм и радикализм.
2. Идеологическая структура состоит из системы убеждений, представлений, верований на которых основывается существование террористической системы. Она направлена во внутрь террористической группировки, призвана сплотить и объединить ее членов на едином основании. В основе лежат разные идеологии – рели-

гиозные (крайние формы религий), социально-политические («правые» и «левые», сепаратизм и др.), мировоззренческие особенности (движение против абортов, движение за права животных и др.).

3. Финансово-экономическая структура включает в себя механизмы экономического жизнеобеспечения террористической системы. Для ее функционирования необходимы денежные средства, которые изыскиваются двумя путями – напрямую от спонсоров или своими силами за счет криминальной деятельности.
4. Социально-организационная структура определяет способы управления и внутренней организации, непосредственный набор новых членов террористических групп. Пополнение людских ресурсов осуществляется за счет вербовки, которая тесно связывается с идеологической структурой.
5. Военно-техническая структура отвечает за подготовку и проведение террористических актов. Представляет собой сеть складов с оружием и тренировочных лагерей, каналы доставки оружия, а также выражается в особенностях военно-тактической подготовки террористов.
6. Информационно-коммуникативная структура, главной функцией которой являются пропаганда и информационная война. Главным образом она происходит в сети Интернет, так как другие СМИ закрыты для террористов. С другой стороны любое упоминание в СМИ для террористов является крайне желательным.

Все перечисленные виды структур и вся террористическая система в целом также могут быть отражены через свои атрибутивные свойства (пространство и время). Именно пространственно-временная атрибутивная структура конкретизирует всю террористическую систему и ее части, позволяет анализировать ее территориально и во временных рамках. Также пространственно-временная структура позволяет отслеживать взаимодействие и взаимовлияние террористической системы и ее внешней среды.

2. Территориальная структура терроризма в мире

Исходя из интегрального показателя интенсивности террористической деятельности, а также учитывая ее историко-идеологические особенности, основные виды и формы, характер современной

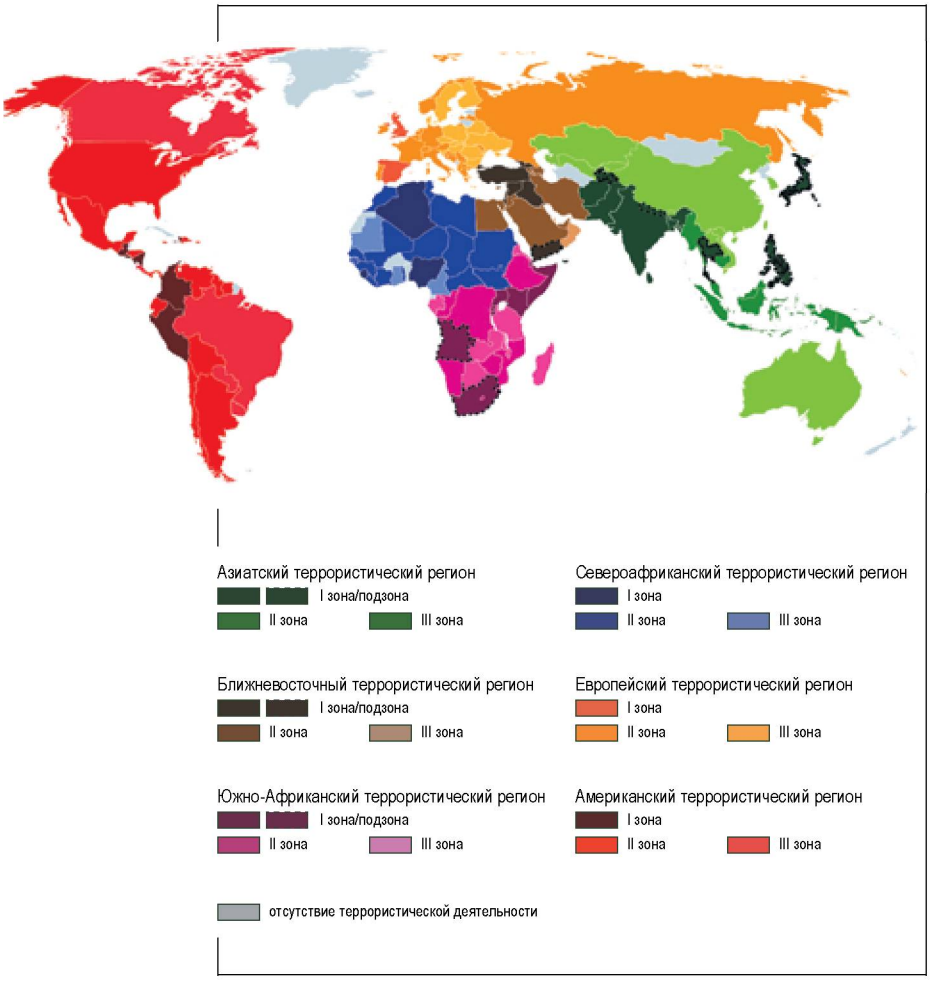


Рис. 2. **Террористические регионы мира в 1970–2015 гг.**
Fig. 2. The terrorist regions of the world in the years 1970–2015.

динамики террористической деятельности, нами выделены следующие террористические регионы: азиатский, ближневосточный, южно-африканский, североафриканский, европейский и американский (рис. 2).

Выделенные террористические регионы своими границами и составом в некоторой части совпадают, в некоторой – расходятся, с общепринятой мировой классификацией ООН [18]. Поэтому, необходимо дать пояснения получившейся сетки террористического районирования. Европейский террористический регион полностью совпадает своими границами со сложившимися в международной практике. Это объясняется и общей высокой исторической связностью регио-

на, и тем, что терроризм здесь развивается с начала XIX века и успел сформировать четко выраженные территориальные особенности. Американский террористический регион включает в себя страны Северной и Южной Америки. Для всех стран региона, за исключением США и Канады, общей особенностью является высокая степень политической нестабильности и развитый леворадикальный терроризм.

В географическом Азиатском макрорегионе выделены два террористических региона – Ближневосточный и Азиатский. Ближневосточный террористический регион включает в себя страны Западной Азии, Закавказья, а также Египет и Иран. Большинство исследователей определяют именно такие культурно-исторические границы региона. С точки зрения истории и географии развития терроризма в регионе, это также справедливо. Азиатский террористический регион составляют страны Центральной, Восточной, Южной и Юго-Восточной Азии. Также к нему отнесена Австралия и Океания. На Африканском континенте также выделены два террористических региона – Североафриканский и Южно-Африканский. Североафриканский террористический регион объединят страны Северной Африки (исключая Египет), Западной Африки, а также ЦАР, Чад и Камерун, которые относятся ООН к Центральной Африке. Южно-Африканский террористический регион включает страны Южной, Восточной и Центральной Африки (за исключением ЦАР, Чада и Камеруна).

Анализ основных показателей террористической деятельности показал, что наиболее интенсивная террористическая деятельность отмечается в двух регионах – азиатском и ближневосточном (табл. 1). На их суммарную долю приходится 54–70% всего мирового объема террористической активности. Второй эшелон составляют два региона – Европейский и Американский. Их общая доля по числу терактов составляет 33%, но доля по числу жертв гораздо ниже – около 12%. Наконец, 11–17% террористической деятельности в мире фиксируется на территории Североафриканского и Южно-Африканского террористических регионов.

Заслуживает внимания также анализ среднего числа жертв за теракт. Три региона – Ближневосточный, Североафриканский и Южно-Африканский имеют этот показатель на уровне 5,1–5,5 жертв/теракт, что выше мирового уровня в 3,6 жертв/теракт. Еще один регион – Азиатский, сопоставим со среднемировым уровнем по этому показателю – 3,9 жертв/теракт. Американский и Европейский регион характеризуются минимальными значениями среднего числа жертв за теракт – 1,2–1,5. Это позволяет сделать вывод о том, что на территории Американского и Европейского региона крупных терактов происходило меньше, многие теракты происходили вообще без жертв, терроризм

Таблица 1. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ МИРА В 1970–2015 ГГ.
Table 1. Main indicators of terrorist activity in terrorist regions of the world in 1970–2015

Регион	Число терактов	Число жертв	Среднее число жертв за теракт	Доля по числу терактов в мире (%)	Доля по числу жертв в мире (%)
Азиатский	49 384	191 279	3,87	31,93	34,39
Американский	32 116	48 279	1,50	20,76	8,68
Ближневосточный	36 319	198 518	5,47	23,48	35,69
Европейский	18 976	23 161	1,22	12,27	4,16
Североафриканский	9 502	48 824	5,14	6,14	8,78
Южно-Африканский	8 387	46 090	5,50	5,42	8,29
Мир в целом	154 684	556 151	3,60	100,0	100,0

Составлено по данным: [1].

имел менее «кровожадный» характер, чем в остальных четырех регионах мира.

Говоря об историко-географических изменениях терроризма в мире, следует ометить, что в разные периоды времени различные регионы мира сталкивались с развитием терроризма на своей территории. Представляется возможным проследить, как этот процесс шел последние 50 лет, проанализировав долю регионов по числу терактов и жертв в динамике за 1970–2015 гг. (рис. 3).

В период 1970–1979 гг. лидирующими регионами по объему террористической деятельности были Европейский и Американский. При чем, если по количеству жертв они даже уступили Ближневосточному региону, то по числу терактов превосходят его в 3–4 раза (табл. 2). Обращает на себя внимание также минимальная доля трех регионов – Азиатского, Североафриканского и Южноафриканского.

В 1980–1989 гг. по доле по числу терактов и жертв безоговорочное первое место занимает Американский регион, за ним следуют Азиатский и Ближневосточный. Заметно сокращается доля Европейского террористического региона в мировом объеме террористической деятельности. Возрастает доля Южно-Африканского региона, при этом доля Североафриканского региона остается незначительной.

В период 1990–1999 гг. появляется новый лидер – по интенсивности террористической активности на первое место выходит Азиат-

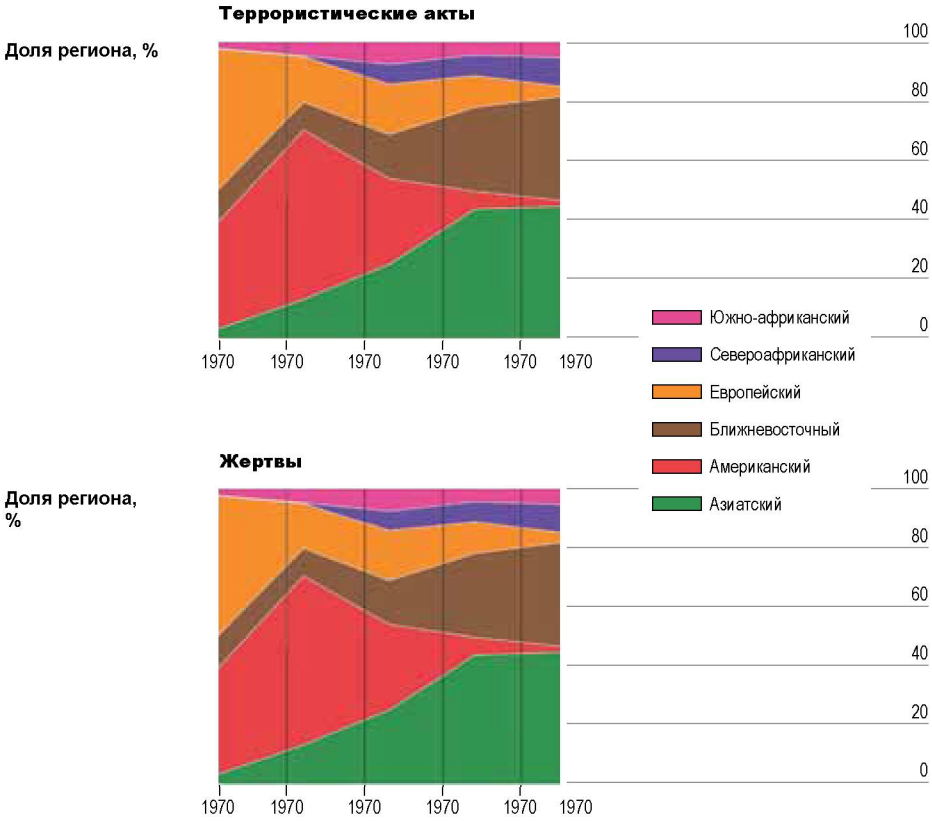


Рис. 3. **Доля террористических регионов мира по числу терактов и их жертв в 1970–2015 гг.**
Fig. 3. Share of terrorist regions of the world by the number of terrorist attacks and their victims in 1970–2015.

ский регион. За ним с сопоставимыми показателями располагаются Южно-Африканский, Американский и Ближневосточный террористические регионы. Доля Европейского региона стабилизируется на низком уровне, а доля Североафриканского начинает заметно расти.

Эти же тенденции имели продолжение и в последующий современный временной период 2000–2015 гг. Первые два места по объему террористической деятельности заняли Азиатский и Ближневосточный террористический регионы, продолжили наращивать свою долю Североафриканский и Южно-Африканский, к минимальным значениям за всю историю наблюдений пришли Европейский и Американский регионы.

Таблица 2. КОЛИЧЕСТВО ТЕРАКТОВ И ИХ ЖЕРТВ В ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ МИРА В 1970–2015 ГГ.
Table 2. Number of terrorist attacks and their victims in terrorist regions of the world in 1970–2015

Регион	1970–1979 гг.		1980–1989		1990–1999		2000–2009		2010–2015	
	Количество тер-актов	Количество жертв	Количество тер-актов	Количество жертв	Количество тер-актов	Количество жертв	Количество тер-актов	Количество жертв	Количество тер-актов	Количество жертв
Азиатский	324	1338	4107	18873	7145	41171	10873	59260	26935	70655
Американский	3502	1587	17666	22868	8223	11608	1482	9395	1243	2821
Ближневосточный	1065	2728	2906	11060	4214	9951	7053	71169	21081	103610
Европейский	4643	1877	4752	5534	4828	4691	2662	7826	2091	3233
Североафриканский	21	55	78	1064	1885	11697	1729	8258	5789	27750
Южно-Африканский	230	931	1501	7351	2204	19940	1133	7883	3319	9985
Мир в целом	9785	8516	31010	66750	28499	99058	24932	163791	60458	218054

Составлено по данным: [1].

В целом, если резюмировать общую картину региональных особенностей, то можно сделать следующий вывод. Происходит глобальная региональная трансформация терроризма, в ходе которой основной объем террористической деятельности перемещается из Американского и Европейского региона на территорию Азиатского и Ближневосточного региона. Параллельно постоянную положительную динамику террористической деятельности имели Североафриканский и Южно-Африканский регионы.

При сопоставлении террористических регионов по преобладающим видам, формам, целям и годам наибольшей интенсивности террористической деятельности можно сделать несколько определяющих выводов (табл. 3).

Во-первых, по объему террористической деятельности самым распространенным видом в мире является исламский радикальный терроризм. Он занимает доминирующее положение в Азиатском, Ближневосточном и Североафриканском регионах. В последние два десятилетия он появился во всех регионах. В Южно-Африканском террористическом регионе он постепенно выходит на ведущие позиции. В Европейском и Американском (в основном за счет США) он также присутс-

Таблица 3. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ МИРА В 1970–2015 ГГ.
Table 3. Main characteristics of terrorist regions of the world in 1970–2015

Регион	Преобладающие виды	Преобладающие формы	Преобладающие цели	Годы наибольшей террористической активности
Азиатский	Исламский (до 80%)	Взрыв (44%)	Частные граждане (25%)	1980–2015 гг.
Американский	Левый (до 90%)	Взрыв (42%)	Частный бизнес (17%)	1970–2000 гг.
Ближневосточный	Исламский (около 75%)	Взрыв (60%)	Частные граждане (31%)	1980–2015 гг.
Европейский	Сепаратистский (около 45%)	Взрыв (52%)	Частный бизнес (22%)	1970–2000 гг.
Северо-африканский	Исламский (до 95%)	Вооруженное нападение (37%)	Частные граждане (36%)	1990–2015 гг.
Южно-Африканский	Исламский (около 40%) Этнический (около 40%)	Взрыв (36%)	Частный бизнес (27%)	1990–2015 гг.
Мир в целом	Исламский (около 55%)	Взрыв (46%)	Частные граждане (26%)	1990–2015 гг.

твует, но уступает традиционным видам для этих регионов – сепаратистскому и левому терроризму соответственно.

Во-вторых, основной формой реализации террористической деятельности для всех регионов, кроме Североафриканского, является взрыв. При этом, доля взрыва может выступать интересным качественным показателем. По нему возможно опосредованно судить о степени анонимности террористов и условной силе контртеррористического противодействия. Так, в лидирующих по этому показателю Ближневосточном (60%) и Европейском (52%) террористических регионах внутренняя логика террористического движения имеет «подпольный», скрытый характер. Возможное «раскрытие» террористов в ходе реализации других форм (например, вооруженного нападения) практически сразу приводит к их задержанию и физическому уничтожения. В остальных регионах формировались другие условия для терроризма – группировки, в силу разных причин, получали под свой контроль определенные территории, с которых могли вести разнообразную, с точки зрения форм, деятельности. В таком случае становилось возможным

проводить масштабные и менее затратные вооруженные нападения, и относительно безнаказанно отходить на территории базирования. Ярчайшим примером можно назвать Нигерию в Североафриканском регионе, где исламские террористы в отсутствии серьезного сопротивления силовых структур не утруждают себя «взрывной» деятельностью, а просто совершают вооруженные налеты на свои цели.

В-третьих, главной целью террористической деятельности в трех регионах (Азиатский, Ближневосточный и Североафриканский) являются частные граждане. С учетом степени распространения в них исламского терроризма, можно сделать предположение о взаимосвязи этого вида терроризма и целевой структурой террористической деятельности. В подтверждение этому – в оставшихся трех регионах исламский терроризм представлен меньше, и главной целью выступает частный бизнес. Отметим, что вопрос структуры целей терроризма гораздо шире, имеет потенциал достаточно полно раскрыть внутренние особенности террористической деятельности, и будет изучен подробно для каждого региона в соответствующих главах.

Наконец, если учесть периоды наибольшей интенсивности терроризма в каждом регионе, то напрашивается разделение террористических регионов на три пары. К первой паре относятся Американский и Европейский регионы. Их можно назвать единственными «не исламскими» террористическими регионам, ведущую роль в них играли сепаратистский и левый виды терроризма. Они уже прошли «террористический пик», за исключением нескольких стран, актуальность имеет только внешний исламский терроризм, проникающий в эти регионы с 1990-х гг. Данные регионы имеют близкие относительные показатели террористической деятельности, общие историко-политические черты. Вторую пару образуют Азиатский и Ближневосточный террористические регионы. Помимо их географической, культурной и политической близости их объединяет преобладание исламского терроризма и его огромные масштабы (2/3 всего объема террористической деятельности в мире). Терроризм в них стал развиваться несколько позже, чем в Американском и Европейских регионах, и сейчас продолжает активно наращивать свой объем и территорию распространения. Третью пару – Североафриканский и Южно-Африканский можно назвать террористическими «молодыми» регионами. Терроризм здесь активно развиваться стал только с 1990-х гг., находится сейчас в стадии роста и формирования. Поэтому по объему террористической деятельности эти регионы являются отстающими. Ведущую роль здесь играет исламский терроризм, особенно в Североафриканском регионе, который уже можно рассматривать как продолжение Ближневосточного террористического региона.

ВЫВОДЫ

1. Терроризм – сложная общественно-политическая территориальная система, состоящая из ряда специфических структур. Фокусом географического исследования терроризма является его атрибутивная (пространственно-временная) структура, что также принципиально разграничивает сферы изучения терроризма в рамках других наук и научных дисциплин. На современном этапе, в рамках географической науки возможно изучить социально-организационную и политическую структуру терроризма в пространственно-временном разрезе. Остальные структуры малодоступны для исследования в виду закрытой статистической базы и сложности организации соответствующего мониторинга.
2. Одним из концептуальных подходов к решению этой проблемы может выступить географический подход на основе системно-структурного анализа. Он позволяет представить терроризм и террористическую деятельность в виде социально-политической системы, состоящей из ряда структур, которые, в свою очередь, могут быть описаны и изучены, в том числе и географической наукой.
3. В результате террористического районирования в мире выделены шесть крупных регионов терроризма. Они, в свою очередь, имеют разные исторические и политические особенностями развития терроризма, характеризуются рядом абсолютных и относительных показателей. Наибольший объем и интенсивность террористической детальности приходится на Азиатский и Ближневосточный террористические регионы, Европейский и Американский регионы отличаются длительностью существования и разнообразием видов и форм терроризма. Наконец, Североафриканский и Южно-Африканский регионы молоды, находятся в стадии формировании, и отличаются «взрывным» ростом исламского терроризма на своей территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START). – URL: https://www.start.umd.edu/gtd
2. Маергойз И.М. Территориальная структура хозяйства. Новосибирск : Наука, 1986. 300 с.

3. Географическое положение и территориальные структуры. М.: Новый хронограф, 2012. 895 с.
4. Шарыгин М. Д. Современное состояние и место теоретической географии в системе научного знания // Географический вестник. 2010. №3. С. 4–10.
5. Алаев Э. Б. Социально-экономическая география: понятийно-терминологический словарь. М.: Мысль, 1983. 350 с.
6. Горкин А. П. География. Современная иллюстрированная энциклопедия. М. : Росмэн, 2006. 624 с.
7. Требин М. П. Терроризм в XXI веке. Минск : Харвест, 2004. 816 с.
8. Гладкий Ю. Н. Глобалистика: трудный путь становления // Мир. Экономика и международные отношения. 1994. №10. С. 104–116.
9. Мажар Л.Ю. Геосистемный подход к изучению закономерностей территориальной организации общества // Региональные исследования. №1(27). 2010. С. 15–23.
10. Большой российский энциклопедический словарь. М.: БРЭ, 2003. 1437 с.
11. Полян П. М. Территориальные структуры в науке и практике. М. : Знание, 1988. 48 с.
12. Батоврин В. К. Толковый словарь по системной и программной инженерии. М.: ДМК Пресс, 2012. 280 с.
13. Современный словарь иностранных слов. М.: Русский язык, 1992. 752 с.
14. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа СПб. : СПбГТУ, 1997. 510 с.
15. Василевский Л. И. Системно-структурный подход и экономическая география // Системные исследования. Ежегодник 1978. М. : Наука, 1978. С. 242–260.
16. Vasilevskiy L. I., Polyan P. M. Territorial structures of the national economy and their parametrization //Soviet Geography. 1978. T. 19. №8. P. 540–558.
17. Терроризм и организованная преступность. М.: ЮНИТИ-ДАНА: Закон и право, 2010. 247 с.
18. Департамент по экономическим и социальным вопросам ООН – URL: https://unstats.un.org/unsd/methodology/m49/#geo-regions

REFERENCES

1. The National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START). – URL: https://www.start.umd.edu/gtd
2. Maergoiz I. M. Territorial structure of the economy. Novosibirsk: Nauka, 1986, 300 p.
3. Geographical position and territorial structures, Moscow: Novy chronograph, 2012, 895 p.
4. Sharygin M. D. Modern state and place of theoretical geography in the system of scientific knowledge / / Geographical Bulletin. – 2010. – No. 3. – Pp. 4–10.

5. Alaev E. B. Socio-economic geography: a conceptual and terminological dictionary. Moscow: Mysl, 1983. 350 p.
6. Gorkin A. P. Geography. Modern illustrated encyclopedia, Moscow: Rosman, 2006, 624 p.
7. Trebin M. P. Terrorism in the XXI century. Minsk: harvest, 2004. 816 p.
8. Gladkiy Yu. N. Globalistics: a difficult path of formation / / World. Economics and international relations. 1994, no. 10, Pp. 104–116.
9. Mazhar L. Yu. Geosystem approach to the study of patterns of territorial organization of society / / Regional studies. – №1(27). – 2010. – pp. 15–23.
10. Big Russian encyclopedia, Moscow: BRE, 2003, 1437 p.
11. Polyan P. M. Territorial structures in science and practice, Moscow: Znanie, 1988, 48 p.
12. Batovrin V. K. Explanatory dictionary of system and software engineering. Moscow: DMK Press, 2012. 280 p.
13. Modern dictionary of foreign words, Moscow: Russian language, 1992, 752 p.
14. Volkova V. N. Fundamentals of system theory and system analysis Saint Petersburg: SPbSTU, 1997, 510 p.
15. Vasilevsky L. I. System-structural approach and economic geography / / System research. Yearbook 1978, Moscow: Nauka, 1978, Pp. 242–260.
16. Vasilievsky L. I., Polyan P. M. Territorial structures of the national economy and their parametrization / / Soviet Geography. – 1978. – Vol. 19. – no. 8. – p. 540–558.
17. Terrorism and organized crime, Moscow: UNITY-DANA: Law and law, 2010, 247 p.
18. UN Department of economic and social Affairs-URL: https://unstats.un.org/unsd/methodology/m49/#geo-regions

Поступило в редакцию 17.08.2020,
принята к публикации 01.09.2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Супрунчук Илья Павлович, кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии и туризма, Института наук о Земле, Северо-Кавказского федерального университета. Scopus ID: 57199507380, Researcher ID: 0.
E-mail: ilia_suprunchuk@mail.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Suprunchuk Ilya P., candidate of geographical Sciences, associate Professor of the Department of socio-economic geography and tourism, Institute of Earth Sciences, North Caucasus Federal University. Scopus ID: 57199507380, Researcher ID: 0.
E-mail: ilia_suprunchuk@mail.ru.

25.00.29
УДК 551.515.4

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

Аджиева А.А., Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, г. Нальчик, Россия; adzhieva@mail.ru;
Керефова З.М., Федеральное государственное бюджетное учреждение Высокогорный геофизический институт РОСГИДРОМЕТ, г. Нальчик, Россия; zknyaz-kbsu@mail.ru;
Гятов Р.А. Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова, г. Нальчик, Россия; gyatov88@mail.ru

ПОРАЖАЕМОСТЬ ТЕРРИТОРИИ И ОБЪЕКТОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА МОЛНИЯМИ

Введение: гроза является комплексным атмосферным явлением. Основные признаки такого явления – многократные электрические разряды между разноименно заряженными областями облака - облачные разряды, разными облаками - межоблачные разряды или между облаками и землей – наземные разряды.

Материалы и методы исследований: для анализа особенностей климатических характеристик гроз и оценки поражаемости территории и объектов Северного Кавказа молниями использованы результаты инструментальных исследований грозовой деятельности и измерений параметров молниевых разрядов.

Результаты исследований и их обсуждение: выполнено экспериментальное и теоретическое исследование физико-статистических характеристик грозовой деятельности и поражаемости территории и объектов молниями, характерных для юга Европейской части России.

Вывод: построена карта среднегодовой поражаемости молниями территории Северного Кавказа. Карта построена по инструментальным наблюдениям о числе дней с грозой и поражаемости земли по данным грозопеленгационной системы LS 8000 ФГБУ «ВГИ». Для характерных объектов рассчитана их среднегодовая поражаемость молниями.

Ключевые слова: грозовая деятельность, электрические разряды, поражаемость молниями, плотность ударов, молниезащита.

Adjieva A.A., Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Nalchik, Russia adzhieva@mail.ru
Kerefova Z.M., FSBI «High-Mountain Geophysical Institute», Nalchik, Russia zknyaz-kbsu@mail.ru
Gyatov R.A. Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia; gyatov88@mail.ru

Affected Territory and Objects of the North Caucasus by Lightning

Introduction: a thunderstorm is a complex atmospheric phenomenon. The main signs of this phenomenon are multiple electrical discharges between differently charged regions of the cloud – cloud discharges, different clouds-inter-cloud discharges, or between clouds and the ground – ground discharges.

Materials and methods of the research: the results of instrumental studies of thunderstorm activity and measurements of lightning discharge parameters were used to analyze the features of climatic characteristics of thunderstorms and assess the incidence of lightning on the territory and objects of the North Caucasus.

The results of the study and their discussion: an experimental and theoretical study of the physical and statistical characteristics of thunderstorm activity and the damage to the territory and objects by lightning, typical for the South of the European part of Russia, was performed.

Conclusions: a map of the average annual lightning strike rate in the North Caucasus is constructed. The map is based on instrumental observations about the number of days with thunderstorms and the earth's susceptibility.

Keywords: thunderstorm activity, electric discharges, lightning susceptibility, impact density, lightning protection.

ВВЕДЕНИЕ

Разряд молнии между облаком и землей представляет собой один или более следующих друг за другом частичных разрядов (импульсов). Обычно это (3–4) импульса с характерной длительностью около 40 мкс каждый, разделенных характерным интервалом около 40 мс. Каждый импульс состоит из лидера (предразряда) и возвратного (обратного) удара. Именно лидеры прокладывают путь для импульсов. Лидер, предшествующий первому импульсу, носит название ступенчатого лидера, а лидеры, предшествующие последующим импульсам, называются стреловидными лидерами [1, 2]. Они появляются в атмосфере при напряженности электрического поля около 3 кВ/

см [3, 4], что на порядок ниже значения напряженности поля для электрического пробоя воздуха при нормальных условиях (E ~ 30 кВ/см). Поля с E ≈ 30 кВ/ см в свободной атмосфере не наблюдаются. В теории грозы вопрос о возникновении лидеров молний является наименее изученным. С молниями нередко связаны возникновения пожаров, разрушения зданий, повреждения линий электропередач, нарушения движения самолетов и поездов и др. Прямое попадание молнии в человека обычно приводит к летальному исходу. В целом гроза – это комплексное атмосферное явление, признаками которого являются многократные электрические разряды (молнии) между разноименно заряженными областями облака – облачные разряды, разными облаками – межоблачные разряды или между облаками и землей – наземные разряды. Как правило, очень часто грозы сопровождаются сильным шквалистым ветром, ливневыми осадками и градом. Оперативное определение ее местоположения, интенсивности, направления и скорости перемещения имеет большое практическое значение для многих отраслей хозяйственной деятельности человека. В частности, для метеообеспечения авиации, молниезащиты энергетических объектов и др. Проблема мониторинга электрической активности конвективных облаков является одной из актуальных и сложных проблем современной физики атмосферы. Нужды авиации, метеорологии и ряда других областей науки и техники неразрывно связаны с этой проблемой. Важность этой задачи обусловлена необходимостью обеспечения безопасности летательных аппаратов и энергетических сооружений от попадания молний, предупреждения лесных пожаров и ликвидации возможности воздействия тока молнии на электрические сети.

Одним из показателей надежности воздушных линий электропередач, зданий, сооружений и других молниезависимых объектов является их грозоупорность. Воздушные линии электропередачи, в силу большой протяженности и высоты, служат весьма уязвимыми объектами для воздействия молнии. Для разработки мероприятий по повышению надежности молниезащиты эксплуатируемых и проектируемых объектов необходимы статистические данные по грозовой активности и её характеристики: количество и места ударов молнии, амплитуду, длительность и полярность импульса тока. Наличие надежных статистических данных об интенсивности грозовой деятельности в районах действующих и проектируемых молниезависимых объектов позволит повысить их молниезащиту. Риск повреждения молниями различных объектов может быть снижен, если на этапе проектирования при выборе трассы прохождения линий электропередач, места и параметров объектов учитывать статистические данные об интенсивности грозовой деятельности. В настоящее время интенсивность грозовой

деятельности в РФ определяется по региональным картам среднегодовой продолжительности гроз в часах, составленных по данным многолетних наблюдений на метеорологических станциях Росгидромета визуально и на слух [5].

Используемые в настоящее время нормативные документы [5, 6, 7] ориентированы на использовании достаточно неточных, осредненных для больших территорий характеристик грозовой активности и параметров молний. Намечаемый в России переход к цифровым управляющим системам, цифровой экономики, требует принципиального повышения надежности функционирования молниезависимых объектов, но и управляющих систем в режимах, связанных с воздействием тока молнии и электромагнитного поля молнии.

Количество поражений молниями в год различных объектов зависит от его геометрических размеров и количества поражений молниями земной поверхности в год n, 1/(км^2 год) на территории нахождения объекта.

Подсчет ожидаемого количества N поражений молнией в год производится по формулам (1, 2 и 3):

для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни)

$$N = 9\pi h^2 n \times 10^{-6}, \quad (1)$$

для зданий и сооружений прямоугольной формы

$$N = [(S + 6h)\,(L + 6h) - 7{,}7h^2]\, n \times 10^{-6}, \quad (2)$$

где h – наибольшая высота здания или сооружения, м;

S, L – соответственно ширина и длина здания или сооружения, м;

n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности (удельная плотность, ударов молнии в землю) в месте нахождения здания или сооружения.

Для зданий и сооружений сложной конфигурации в качестве S и L рассматриваются ширина и длина наименьшего прямоугольника, в который может быть вписано здание или сооружение в плане.

Число ударов молнии в год в линию электропередачи длиной l, км, со средней высотой подвеса верхнего провода или троса $h_{ср}$, м:

$$N = 4nh_{ср}l \times 10^{-4}, \quad (3)$$

Плотность ударов молнии в землю, выраженная через число поражений 1 км^2 земной поверхности за год, определяется по данным метеорологических наблюдений в месте размещения объекта. Если же плотность ударов молнии в землю n, 1/(км^2 год), неизвестна, ее можно рассчитать по следующей формуле:

$$n = 6{,}7 \times T/100, \tag{4}$$

где T – среднегодовая продолжительность гроз в часах, определенная по региональным картам интенсивности грозовой деятельности.

В соответствии с Приложением 2 РД34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений [6] территория России районирована по продолжительности гроз. Среднегодовая продолжительность гроз в произвольном пункте на территории СССР определяется по карте (рис. 1), или по утвержденным для некоторых областей СССР региональным картам продолжительности гроз, или по средним многолетним (порядка 10 лет) данным метеостанций, близких от места нахождения здания или сооружения. При этом также имеются карты среднего числа дней с грозой [6].

Источником информации о грозах для создания карты, рисунке 1, являются визуальные наблюдения за грозами, которые производятся на метеостанциях по территории России. По этим данным оцениваются другие параметры гроз. Рост продолжительности гроз в год приводит к повышению удельной плотности ударов молнии в землю n, 1/(км^2 × год).

До сих пор в России основным источником информации о грозах является визуально – слуховые наблюдения на метеостанциях в соответствии с нормативными документами Росгидромета [8, 9].

Оценка грозоупорности с использованием интенсивности грозовой деятельности, определенной по продолжительности гроз в часах, получается приближенной. Такая оценка недостаточно информативна и не отвечает современным требованиям проектирования и эксплуатации современных объектов с высокими составляющими цифровыми элементами. Для повышения достоверности определения интенсивности грозовой деятельности и параметров поражения объектов молниями целесообразно вместо карт среднегодовой продолжительности гроз в часах использовать карты среднегодовой плотности разрядов молнии на землю, составленных по данным регистрации разрядов молнии автоматизированными радиотехническими системами. Практическое использование для определения координат разрядов

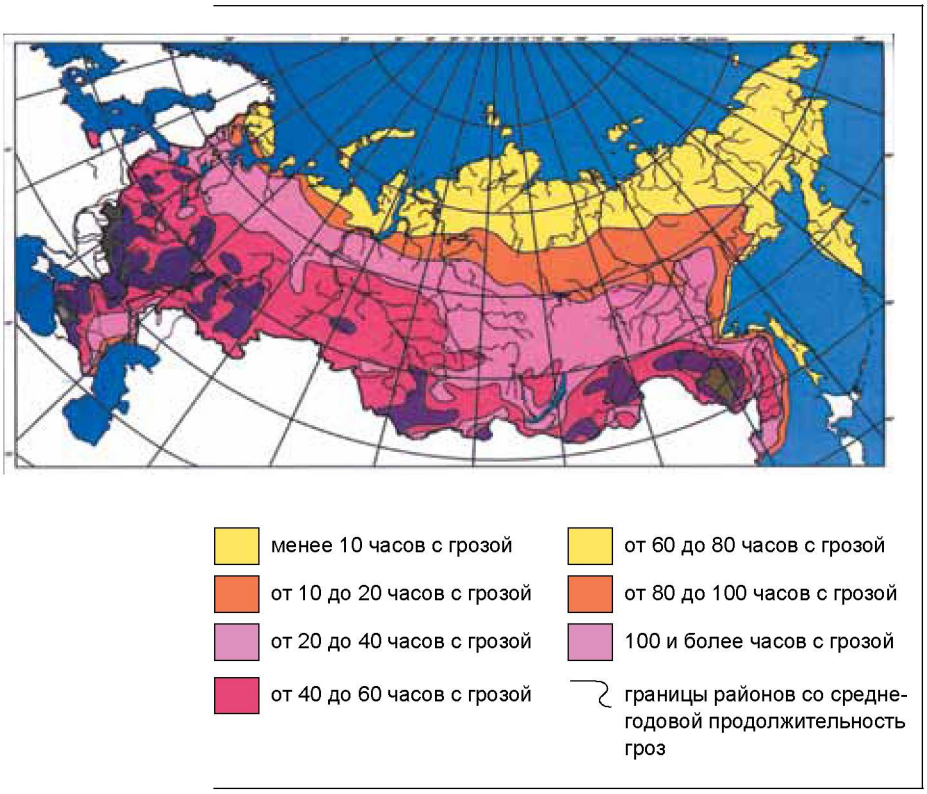


Рис. 1. **Карта средней за год продолжительности гроз в часах для территории Российской Федерации.**
Fig. 1. Map of the average annual duration of thunderstorms in hours for the territory of the Russian Federation.

молнии получили многопунктовые автоматизированные радиотехнические системы пеленгации молниевых разрядов. Автоматизированная радиотехническая система позволяет вести оперативный мониторинг грозовой деятельности на достаточно большой территории и собрать за короткий период времени достаточно большой объем данных для физико-статистического анализа. Во многих странах мира в настоящее время для определения интенсивности грозовой деятельности используются регистрации координат разрядов молний и амплитуд токов молний с помощью автоматизированных радиотехнических систем, использующих электромагнитное излучение сильноточных разрядов молнии между облаком и землей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа особенностей климатических характеристик гроз и оценки поражаемости территории и объектов Северного Кавказа молниями использованы результаты инструментальных исследований грозовой деятельности и измерений параметров молниевых разрядов.

В работе для определения статистических распределений числа дней с грозой, продолжительности гроз и пространственных их вариаций на Северном Кавказе впервые в России использована грозопеленгационная сеть (ГПС) LS 8000 ФГБУ «ВГИ». ГПС LS 8000 производства фирмы «Vaisala» Финляндия, является разностно-дальномерной системой типа LPATS [10].

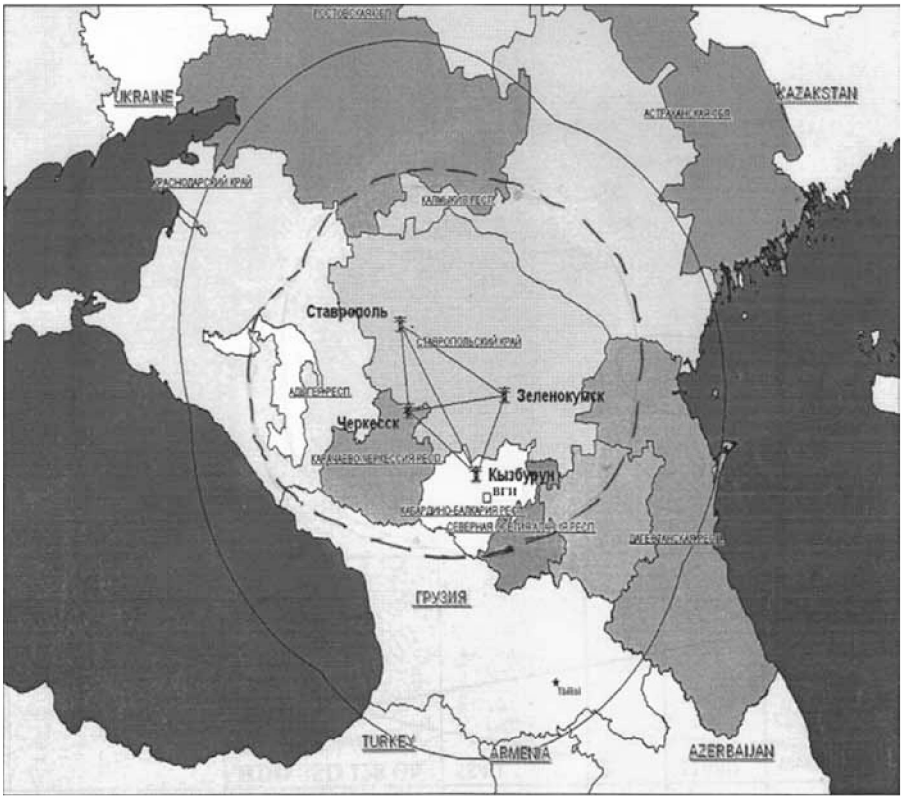
Система грозорегистрации ФГБУ «ВГИ», установленная на Северном Кавказе, состоит из четырех грозопеленгаторов (рис. 2) и центрального пункта приема, обработки информации и архивирования. С 2020 г. ГПС дополнена еще двумя датчиками.

Каждый грозопеленгатор (датчик) имеет два сенсора – низкочастотный (LF) и высокочастотный (VHF).

По данным, полученным с LF и VHF датчиков, центральный процессор (CP), после обработки этих данных, выдает следующую информацию о разряде:

— Дата и время с точностью до 100 наносекунд.
— Широта, долгота (WGS-84) (координаты разряда).
— Сила и полярность сигнала (тока в канале разряда), в kA.
— Классификация разрядов на типы: облако-земля или внутриоблачный разряд.
— Классификация разрядов на положительные и отрицательные.
— Время роста сигнала до пикового значения, в мкс.
— Время спада сигнала от пикового значения до нуля, в мкс.
— Максимальное значение скорости увеличения сигнала (крутизна тока молнии), в kA/мкс.

На рисунке 2 представлена схема размещения грозопеленгаторов системы LS 8000. Их местоположение представляет неправильный четырехугольник со сторонами 158 км, 90 км, 118,5 км и 90 км. Рассчитанные изготовителем системы границы зоны со 100% вероятностью регистрации молнии представляют окружность с радиусом около 310 км. Таким образом территория сбора грозоразрядной



Обозначения: ____ граница территории наблюдений с использованием LS8000;
_ _ _ граница уверенной (100 %) регистрации разрядов молний (по расчетам специалистов VAISALA)

	Широта	Долгота	Высота, м
	44,2874°	42,2404°	901
Зеленокумск	44,4337°	43,9036°	172
Ставрополь	45,1136°	42,1012°	483
Кызбурун	43,6787°	43,4048°	747
Центральный пункт (ВГИ)	43,4694°	43,5861°	120

Рис. 2. **Расположение и территория регистрации грозоразрядной информации с использованием LS8000.**
Fig. 2. Location and territory of registration of lightning discharge information using LS8000.

информации близкой к 100% надежности составляет около 3×10^5 км^2. За пределами указанной территории система регистрирует координаты разрядов молнии с ошибками от 10 до 40 %.

Грозорегистратор обеспечивает прием информации о молниях со всей территории Северного Кавказа, их архивирование и передачу информации потребителям. В России аналоги такой системы в настоящее время установлены в Ростовской и Московской областях.

По многолетним данным ГПС выявлены особенности пространственно-временных изменений грозовой активности и параметров молний на территории радиусом 650 000 км вокруг центра грозопеленгационной сети ФГБУ «ВГИ», г. Нальчик, охватывающей Северный Кавказ и побережье Черного моря. Общее количество грозовых дней в году по всей рассматриваемой территории составляет около 239.

Чаще всего грозы в пунктах наблюдения (точка радиусом до 20 км) продолжаются 1–2 часа, но в отдельных случаях они сохраняются 4–5 ч и более и количество дней с грозой от 20 до 80 дней. На Северном Кавказе в целом средняя продолжительность грозы составляет около 4 часов за грозовой день.

Повторяемость гроз по инструментальным регистрациям ГПС LS8000 продолжительностью менее часа составляет 25%, 3,5–4,5 часов – 62 %, 4,5–7 часов 11% и более 7 часов – всего 2%. Средняя продолжительность гроз в сумме за год на территории Северного Кавказа достигает 956 ч, при максимальной величине в предгорных районах на юго-западе. Лишь в редких случаях на Северном Кавказе отмечались грозы продолжительностью более 15–20 часов. Максимальная продолжительность гроз наблюдается при прохождении хорошо развитых фронтальных процессов, связанных с выносом теплых воздушных масс. Внутримассовые грозы, за небольшим исключением, большей частью кратковременны и менее интенсивны, чем фронтальные.

На территории Северного Кавказа с января по апрель и с октября по декабрь наибольшая повторяемость гроз, как правило, возникает с 12 часов по 19 часов. В остальные периоды года на рассматриваемой территории грозы возникают в течение суток. На территории области наибольшая повторяемость гроз приходится на послеполуденные часы (12–18 ч), когда она составляет 60% и несколько меньше – 26–30 %, на вечерние часы (18–24 ч). В таблице 1 представлено суточное распределение частоты возникновения гроз в течение суток.

Анализ суточных данных о продолжительности гроз по инструментальным измерениям ГПС LS 8000 показал, что средняя продолжительность одной грозы на юге рассматриваемой территории увеличилась за 10 лет примерно на 8….10 минут. Аналогичные выводы сделаны авторами [11] по данным метеостанций. Ими показано, что сред-

Таблица 1. ПОВТОРЯЕМОСТЬ ГРОЗ В ТЕЧЕНИИ СУТОК ПО ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА
Table 1. Frequency of thunderstorms during the day in the North Caucasus

Время, час	1–4	5–8	9–12	13–16	17–20	21–24
% гроз	6	4	17	38	25	10

няя продолжительность одной грозы на юге рассматриваемой территории увеличилась на полчаса по сравнению с периодом до 1966 года и за последние полвека составила по десятилетиям от 2,0 до 2,2 часа. При этом отмечается увеличение числа дней с грозами, охватывающими большую территорию. На фоне повышения минимальных суточных температур возросла повторяемость ночных гроз. Отмеченная в [12] тенденция увеличения повторяемости многодневных периодов с грозами в целом сохраняется. Так, в первой половине XX века в Кисловодске было отмечено 11 периодов продолжительностью более 5 дней каждый, в 1961–2001 гг. таких периодов было отмечено уже 47 [13], а за 18 лет нового века – около 30.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К настоящему времени не разработана методика определения продолжительности гроз по инструментальным наблюдениям, приуроченная к различным форматам сбора информации. Поэтому продолжительность гроз для территорий Северного Кавказа в данной работе рассчитана по формуле (4) по инструментальным данным о числе дней с грозой.

Для создания карты среднегодовой поражаемости молниями территории Северного Кавказа была сделана выборка за период с 2008 по 2019 годы случаев поражения молниями земной поверхности (рис. 3). Созданная карта позволила вывить на территории Северного Кавказа районы с максимальной и минимальной поражаемости земной поверхности разрядами молнии облако – земля.

При создании карты на рисунке 3 нами также использованы данные о продолжительности гроз и выражение (4).

Из рисунка 3 видно, что среднегодовая поражаемость земной поверхности Северного Кавказа наземными молниями варьируется от 10–12 разр/км^2 × год на юге до 0,5–1 разр/км^2 × год на северо-востоке.

Используя данные на карте (рис. 3) и формулы (1) – (3), сделана оценка поражаемости молниями различных объектов на территории

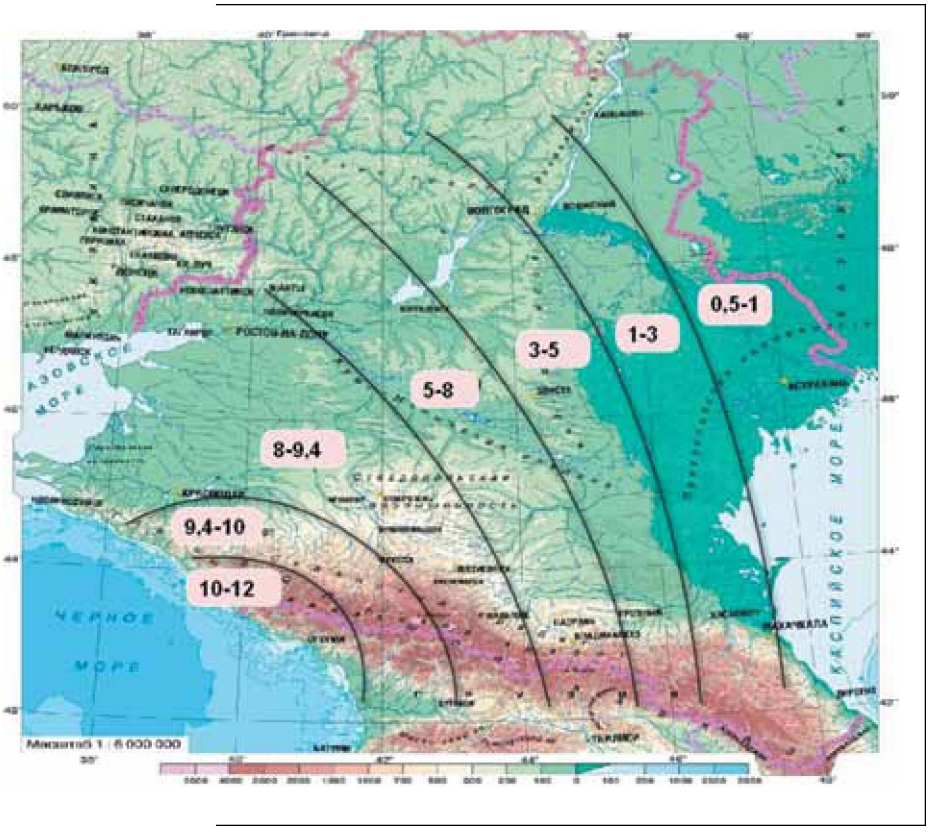


Рис. 3. **Карта среднегодовой поражаемости поверхности земли наземными молниями на Северном Кавказе, построенная по инструментальным наблюдениям LS 8000.**
Fig. 3. Map of the average annual exposure of the earth's surface by ground lightning in the North Caucasus, built on the basis of LS 8000 instrumental observations

Северного Кавказа (табл. 2). Для сравнения аналогичные расчеты выполнены с использованием климатической карты (рис. 1).

Как видно из таблицы 2 имеет место следующие особенности в поражаемости молниями объектов на территории Северного Кавказа, рассчитанные разными методами:

1. На Северном Кавказе с запада на восток количество поражений различных объектов молниями в год возрастает. При этом сосредоточенные здания и сооружений высотой до 50 м, это мачты, трубы, телевизи-

Таблица 2. ПОРАЖАЕМОСТИ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА
Table 2. Damage rates of objects in the North Caucasus

Объекты	По климатическим картам				Данные ГПС LS8000			
	На юге	На вост.	На севере	На западе	На юге	На вост.	На севере	На западе
Сосредоточенные зданияи сооружений: h = 50 м	0,47	0,05–0,09	0,09–0,19	0,28–0,38	0,71–0,85	0,035–0,071	0,071–0,21	0,57–0,67
h = 100 м	0,94	0,1–0,18	0,18–0,38	0,56–0,76	1,42–1,7	0,07–0,14	0,14–0,42	1,14–1,34
Зданияи сооружения прямоугольной формы: S = 30 м; h = 40 м; L = 100 м	0,61	0,064–0,12	0,12–0,25	0,37–0,49	0,91–1,10	0,046–0,091	0,091–0,27	0,73–0,86
Высоковольтные линии электропередач: hср = 10 м; l = 100 км	2,7	2,8–5,2	0,52–1,08	1,6–2,16	4,0–4,8	0,2–0,4	0,4–1,2	3,2–3,8

онные вышки, на западе по инструментальным данным поражаются один раз в 1,5 года, на востоке – в 15 лет такие объекты поражаются молниям. Аналогично и по другим объектам. Здания и сооружения прямоугольной формы на юге поражаются примерно раз в год. На востоке в 10 лет один раз. Высоковольтные линии электропередач длиной 100 км на западе поражаются 4 раза в год. На востоке – в 2,5 года.

2. При рассмотрении поражаемости объектов по инструментальным данным с юга на север на территории Северного Кавказа имеет место следующие закономерности. Сосредоточенные здания и сооружения высотой до 50 м, это мачты, трубы, телевизионные вышки, на юге по инструментальным данным поражаются один раз в год, на севере региона – в 5 лет такие объекты поражаются молниями. Аналогично и по другим объектам. Здания и сооружения прямоугольной фор-

мы на юге поражаются примерно раз в год. На севере в 4 года один раз. Высоковольтные линии электропередач длиной 100 км на юге поражаются 5 раза в год. На севере – 1 … 1,2 раза в год.

3. Сравнения расчетных значений поражаемости различных объектов по климатическим данным и по данным инструментальных наблюдений (табл. 3.5) показывают:

— территориальная динамика поражаемости объектов по территории Северного Кавказа совпадают;

— расчетные значения поражаемости различных объектов по климатическим данным примерно на 40…50% меньше, чем расчетные значения поражаемости тех же объектов по инструментальным данным.

ВЫВОДЫ

1. Инстументальными методами наблюдений за наземными разрядами молний подтверждается выявленные визуально-слуховыми наблюдениями неоднородность распределения среднегодовой удельной поражаемости молниями земли по территории Северного Кавказа.
2. Имеет место тенденция уменьшения среднегодовой удельной поражаемости молниями земли с юга на север. Наибольшая среднегодовая удельная поражаемость молниями земли до 12 разр/км^2 × год часов по инструментальным измерениям ГПС LS 8000 в районе черноморского побережья России (до 8 разр/км^2× год по данным метеостанций) и наименьшая поражаемость 1 разр/км^2 × год на северо-востоке.
3. Северный Кавказ остается районом повышенной грозовой активности, о чем свидетельствуют как достаточно высокая повторяемость грозовых процессов в целом, так и масштабность, и интенсивность отдельных процессов. При этом значения среднегодовой удельной поражаемости молниями земли по инструментальным измерениям ГПС LS 8000 примерно на 60–80% больше чем визуально слуховые данные [5, 6].
4. Суммарные среднегодовые распределения удельной поражаемости молниями земли ожидаемо возраста-

ет по мере увеличения абсолютной высоты местности, от 3,6 разр/км^2 × год по разным метеостанциям северной части края до 7,0 разр/м × км^2 × год в верхней части Ставропольской возвышенности и в предгорьях Кавказа. По данным ГПС LS 8000 от 5 разр/м × км^2 × год до 9 разр/м × км^2 × год.

Библиографический список

1. Юман М. Молния. М.: Мир, 1972, 327 с.
2. ЧалмерсДж. А. Атмосферное электричество. Л: Гидрометеоиздат, 1974, 420 с.
3. Gunn R. Electric field intensity inside of natural clouds. // J. Appl. Phys., 1948, v. 19.
4. Ermakov V.I. Lightning initiation by galaxy cosmic rays. // Proceedings of 9th International Conference on Atmospheric Electricity, St-Petersburg, 1992, 485–488.
5. Правила Устройств Электроустановок (ПУЭ), издание седьмое, М.: ЭНАС, 2003 г.
6. РД34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
7. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.
8. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеоиздат. 1985. 300 с.
9. Руководящий документ. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть II. Обработка материалов метеорологических наблюдений [текст]. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 90 с.
10. Аджиев А.Х., Тапасханов В.О., Стасенко В.Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология, 2013. №1. С.5-11.
11. Бадахова Г.Х. Лашманов Ю.К. Шмигельский В.А.Динамика и современный режим грозовой активности над Центральным Предкавказьем. Наука. Инновация. Технология. 2018. Вып. № 4. С. 117–130.
12. Аджиев А.Х., Бадахова Г.Х. Динамика грозовой активности в регионе Кавказских Минеральных Вод в XX веке//Физика облаков и активные воздействия на гидрометеорологические процессы: Доклады Всероссийской конференции. Москва, 2008. С.206-213.
13. Бадахова Г.Х., Акопов Г.А. Вековой мониторинг грозовой активности в предгорной зоне Центрального Предкавказья // Теоретические и практические аспекты научной мысли в современном мире: Сб. статей международной научно-практической конференции в 4 частях. Оренбург, 2017. С. 25–29.

References

1. Yuman M. Lightning. M: Mir, 1972, 327 p.
2. Chalmers J. A. Atmospheric electricity, L.: Gidrometeoizdat, 1974, 420 p.
3. Gunn R. Electric field intensity inside of natural clouds. // J. Appl. Phys., 1948, v. nineteen.
4. Ermakov V.I. Lightning initiation by galaxy cosmic rays. // Proceedings of the 9th International Conference on Atmospheric Electricity, St-Petersburg, 1992, 485–488.
5. Rules for Electrical Installations (PUE), seventh edition. M.: STC "ENAS", 2003
6. RD34.21.122-87. Instructions for the device of lightning protection of buildings and structures.
7. SO 153-34.21.122-2003 Instructions for the device of lightning protection of buildings, structures and industrial communications.
8. Manual for hydrometeorological stations and posts. L : Hydrometeoizdat. 1985.300 s.
9. Guiding document. Manual for hydrometeorological stations and posts. Issue 3. Part II. Processing of meteorological observation materials [text]. SPb.: Gidrometeoizdat, 2001. 90 p.
10. Adzhiev A.Kh., Tapaskhanov V.O., Stasenko V.N. The system of lightning direction finding in the North Caucasus // Meteorology and Hydrology, 2013. No. 1. S. 5–11.
11. Badakhova G.Kh. Lashmanov Yu.K. Shmigelsky V.A. Dynamics and modern regime of thunderstorm activity over the Central Ciscaucasia. The science. Innovation. Technology. 2018. Issue. No. 4. P. 117-130.
12. Adzhiev A.Kh., Badakhova G.Kh. Dynamics of thunderstorm activity in the region of the Caucasian Mineral Waters in the XX century // Physics of clouds and active influences on hydrometeorological processes: Reports of the All-Russian conference. Moscow, 2008.S. 206-213.
13. Badakhova G.Kh., Akopov G.A. Secular monitoring of thunderstorm activity in the foothill zone of the Central Ciscaucasia // Theoretical and practical aspects of scientific thought in the modern world: Sat. articles of the international scientific and practical conference in 4 parts. Orenburg, 2017.S. 25-29.

Поступило в редакцию 29.07.2020, принята к публикации 01.09.2020

Сведения об авторах

Аджиева Аида Анатольевна. Профессор кафедры Высшей математики и информатики ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, доцент, доктор физико-математических наук. Дом. адрес: 360004, Нальчик, ул. Шогенцукова д. 6. Тел. 89604279686, E-mail: adzhieva@mail.ru.

Керефова Залина Музариновна. НС ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», кандидат физ.-мат. наук. Дом. адрес: г. Нальчик, Чернышевского, д. 181, тел: 8960-426-35-99, E-mail: zknyaz-kbsu@mail.ru.

Гятов Руслан Абусович, аспирант ФГБОУ «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» Дом. адрес: г. Симферополь ул. Субхи, дом 1. Тел: +7913 892 78 85, E-mail: gyatov88@mail.ru

About the authors

Adzhieva A.A. Professor of the Department of Higher Mathematics and Informatics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University. E-mail: adzhieva@mail.ru

Kerefova Z.M. Graduate student of chair of emergency situations of the Kabardino-Balkarian state university. E-mail: zknyaz-kbsu@mail.ru.

Gyatov R.A. Graduate student of chair of emergency situations of the Kabardino-Balkarian state university. E-mail: gyatov88@mail.ru

25.00.35
УДК 910.3

ГЕОИНФОРМАТИКА

Диденко П.А.,
Каторгин И.Ю.,
Юрин Д.В.,
Роман А.Н.

Северо-Кавказский федеральный университет,
Ставрополь, Россия

Roman_alex@mail.ru

АНТРОПОГЕННЫЙ МОРФОГЕНЕЗ КУМО-МАНЫЧСКОЙ ВПАДИНЫ

Введение: в работе рассматривается влияние хозяйственной деятельности человека как экзогенного рельефообразующего процесса, влияющего на возникновение новых форм рельефа сопутствующих процессов. Рассматриваются факторы и формы антропогенного изменения ландшафта и выявить причины этих изменений.

Материалы и методы исследований: в работе использованы данные дистанционного зондирования и полевых экспедиций, проводимых в 2017–2019 гг. для определения степени влияния опасных морфогенетических процессов на хозяйственную инфраструктуру на территории Кумо-Манычской впадины определена структура морфогенетических процессов.

Результаты исследований и их обсуждение: для Кумо-Манычской впадины характерно развитие целого комплекса негативных природных процессов, связанных как особенностью природно-климатических условий, так и с высокой степенью антропогенной нагрузки. Хозяйственная деятельность активизировала процессы опустынивания. Выделены группы факторов, оказывающих существенное влияние на изменение морфогенетических процессов.

Выводы: проведенное исследование позволило выделить группы фактов и описать их долю участия в морфогенетическом преобразовании ландшафтов. Первую группу составляет засоление. Вторую группу составляют сопутствующие процессы: – подтопление и опустынивание и подтопление. Третью группу составляют второстепенные эрозионные процессы: ветровая и водная эрозия. Четвертую группу составляют морфогенетические процессы, выраженные в: заболачивании, седиментации и абразии. Вклад других опасных морфогенетических процессов незначителен. Среди них можно отметить неблагоприятные процессы оврагообразования.

Ключевые слова: антропогенный ландшафт, эрозия, засоление почв, Кумо-Манычская впадина.

Didenko P. A., North Caucasus Federal University,
Katorgin I. Yu., Stavropol, Russia
Yurin D. V.,
Roman A.N. Roman_alex@mail.ru

Anthropogenic Morphogenesis of the Kumo-Manych Depression

Introduction: the paper considers the influence of human economic activity as an exogenous relief-forming process that affects the emergence of new forms of relief associated processes. The factors and forms of anthropogenic changes in the landscape are considered and the reasons for these changes are revealed.

Materials and methods of the research: to determine the degree of influence of dangerous morphogenetic processes on the economic infrastructure on the territory of the Kumo-Manych depression, the structure of morphogenetic processes was determined.

The results of the study and their discussion: the Kumo-Manych depression is characterized by the development of a whole complex of negative natural processes associated with both specific natural and climatic conditions and a high degree of anthropogenic load. Economic activity has intensified the processes of desertification. Groups of factors that have a significant impact on changes in morphogenetic processes are identified.

Conclusions: the study made it possible to identify groups of facts and describe their share of participation in the morphogenetic transformation of the landscape. The first group is salinity – 61–42%. The second group consists of related processes – flooding and desertification and flooding. The third group consists of secondary erosion processes: wind and water erosion. The fourth group consists of morphogenetic processes expressed in: waterlogging, sedimentation, and abrasion. The contribution of other dangerous morphogenetic processes is insignificant. Among them, we can note the unfavorable processes of ravine formation.

Key words: Anthropogenic landscape, erosion, soil salinization, Kumo-Manych depression.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ существующих методов организации территории свидетельствует, что система землеустроительных мероприятий, определяющая структуру агроландшафта, многие десятилетия разрабатывалась без необходимой экологической оценки, что привело к отрицательным последствиям, как непосредственным (сокращение площади сельскохозяйственных угодий, развитие эрозионных про-

цессов, снижение урожайности), так и косвенным (деградация почв, растительного покрова, загрязнение и обмеление малых рек, оскудение фауны). Все это, в конечном итоге, – по законам обратной связи в экологических системах – сказалось на количестве и качестве сельскохозяйственной продукции (Колбовский, 2004).

В настоящее время актуально рассмотрение хозяйственной деятельности человека в роли экзогенного рельефообразующего процесса, влияющего на возникновение комплекса новых форм рельефа и активизации сопутствующих процессов. Понимание особенностей и масштабов антропогенной трансформации территории помогает понять историю антропогенного изменения ландшафта и выявить причины этих изменений.

Под воздействием антропогенной деятельности поверхность подвергается существенной нагрузке, что является причиной коренной перестройки большинства экзогенных денудационных и аккумулятивных процессов, а также их направленности и интенсивности. Изменения рельефа в ходе его трансформации влекут за собой изменение почвенно-растительного покрова и, следовательно, природных комплексов в целом [Водорезов, 2005].

Под антропогенным морфогенезом понимается совокупность экзогенных рельефообразующих процессов и форм рельефа, создаваемых под влиянием человека целенаправленно или путем изменения динамики естественных экзогенных и эндогенных процессов [Водорезов, Кривцов, 2008].

Антропогенный морфогенез в Кумо-Манычской впадине проявляется, в первую очередь, в ходе сельского хозяйства, гидротехнического и гражданского строительства и других видов хозяйственной деятельности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения степени влияния опасных морфогенетических процессов на хозяйственную инфраструктуру на территории Кумо-Манычской впадины нами была определена структура морфогенетических процессов.

Развитие любой формы рельефа обусловлено несколькими процессами, среди которых можно выделить ведущие и второстепенные. Ведущие процессы действуют по-разному, взаимодействуя с природными второстепенными процессами и антропогенной деятельностью, образуя комплекс процессов, находящихся во взаимосвязи друг с другом. В связи с этим, можно говорить о структуре процессов, которая понимается как их пространственное соотношение, способствующее

возникновению новых процессов и приводящее к формированию определенного рельефа [Ивановский, 1989].

Для Кумо-Манычской впадины было использовано соотношение типов опасных морфогенетических процессов (ведущих, сопутствующих и второстепенных) и показатель их интенсивности, который выражается в процентах их распространения по площади. Такое разделение процессов было предложено С.Б. Кузьминым [Кузьмин, 2002, 2004]. Ведущим морфогенетическим процессом является процесс, который формирует основные черты рельефа ландшафта, имеет наибольшую площадь распространения и представляет наибольшую опасность. Сопутствующий морфогенетический процесс – это процесс, формирующий основные черты рельефа ландшафта, имеющий значительную площадь распространения и представляющий потенциальную опасность. Под второстепенным морфогенетическим процессом имеется в виду процесс, участвующий в формировании рельефа локальных территорий в пределах ландшафта, на которых он имеет некоторую интенсивность и представляет опасность. Процессы, представляющие опасность на небольших территориях и незначительные по сравнению со всем ландшафтом включены в разряд «другие» [Кузьмин, 2002, 2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кумо-Манычская впадина представляет собой крупное линейно вытянутое на северо-запад понижение рельефа (рис. 1). Её плоское днище занято поймами и низкими террасами рек Маныча, Калауса и Кумы с множеством озёр. Это самая низкая часть территории Ставропольского края с береговыми отметками озера Маныч до 12 м, а реки Кумы – 5 м над уровнем моря. Кумо-Манычская впадина представляет собой слаборасчлененную равнину, наклонённую от водораздела Азовского и Каспийского морей на северо-запад и юго-восток.

Территория Кумо-Манычской впадины занята морскими аккумулятивными верхнечетвертичными и аллювиально-озёрными аккумулятивными современными равнинами (рис. 2). Долины рек Западного и Восточного Манычей наследуют прогиб, заложенный в складчатом фундаменте эпигерцинской платформы ещё в позднем палеозое (Сафронов, 1969). С новейшими колебательными движениями в Манычском прогибе связано формирование эрозионно-аккумулятивных равнин, которые представляют собой аллювиально-морские и аллювиально-озёрные террасы древнего пролива.

Для Кумо-Манычской впадины характерно развитие целого комплекса негативных природных процессов, связанных как особен-

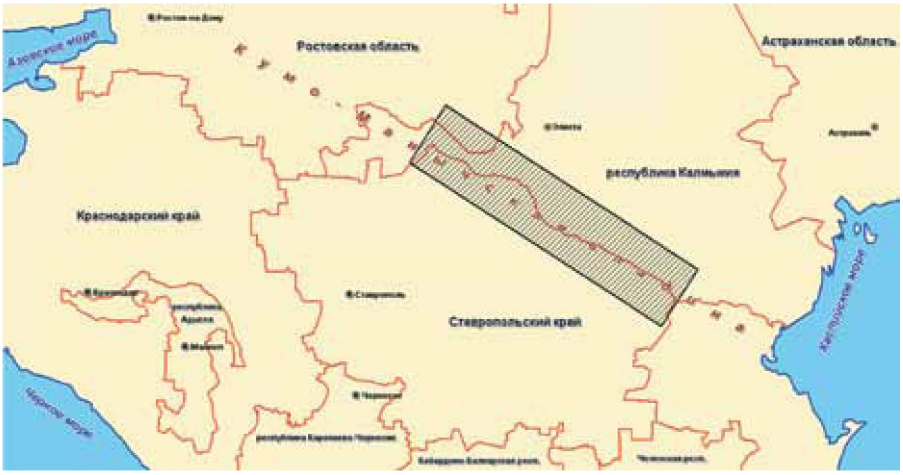


Рис. 1. **Физико-географическое положение Кумо-Манычской впадины.**
Fig. 1. Physical and geographical position of the Kumo-Manych depression.

Рис. 2. **Геологическое строение Кумо-Манычской впадины (по Атласу Ставропольского края, 2000).**
Fig. 2. geological structure of the Kumo-Manych depression (according to The Atlas of the Stavropol territory, 2000).

ностью природно-климатических условий, так и с высокой степенью антропогенной нагрузки. Хозяйственная деятельность активизировала процессы опустынивания (рис. 3). Причинами опустынивания являются перевыпас, распашка малопригодных почв, несовершенная ирригация. Особенно интенсивно процесс опустынивания начал развиваться с начала 1960-х гг., что связано с возросшей загруженностью пастбищ [Опасные.., 2013].

Эта комбинация дает изображение близкое к естественным цветам, но в тоже время позволяет анализировать состояние атмосферы и дым. Здоровая растительность выглядит ярко зеленой, травянистые сообщества – зелеными, ярко розовые участки детектируют открытую почву, коричневые и оранжевые тона характерны для разреженной растительности. Сухостойная растительность выглядит оранжевой, вода-голубой. Песок, почва и минералы могут быть представлены очень большим числом цветов и оттенков. Эта комбинация дает хороший результат при анализе пустынь и опустыненных территорий. Кроме того, может быть использована для изучения сельскохозяйственных земель и водно-болотных угодий. Сгоревшие территории будут выглядеть ярко красными. Эта комбинация используется для изучения динамики пожаров и пост-пожарного анализа территории. Оливково-зеленый цвет характерен для лесных массивов и более темный цвет является индикатором примеси хвойных пород.

Уничтожение растительности из-за интенсивного выпаса скота, распашка земель, малопригодных для земледелия, и некоторые другие виды хозяйственной деятельности усиливают действие ветровой эрозии. Резко нарушается водный баланс, разрушается структура почв, усиливается их насыщение минеральными солями.

Среди факторов антропогенного влияния на почвы большое воздействие оказывает распашка земель. Перевод почв из целинного состояния в пахотные угодья, когда равновесное состояние между процессами «гумификация-минерализация» нарушается со сдвигом в сторону минерализации, способствует потере почвенной органики и кальция. Эти вещества ещё интенсивнее теряются при развитии эрозионных процессов [Танасиенко, Путилин, Артамонова, 1999]. Так же в значительной степени смыты и подвержены водной эрозии пастбищные угодья – 691,6 тыс. га, что составляет 43% от общей площади пастбищ, а 1055,5 тыс. га из них или 67% относятся к дефляционно-опасным (рис. 4).

В связи с интенсивным выпасом скота и распаханностью территории в Кумо-Манычской впадине произошло изменение количества и водности малых рек. В 20 веке произошло сокращение суммарной длины рек на 50,6%. В это время исчезло 35 рек длиной 2–3 км, которые

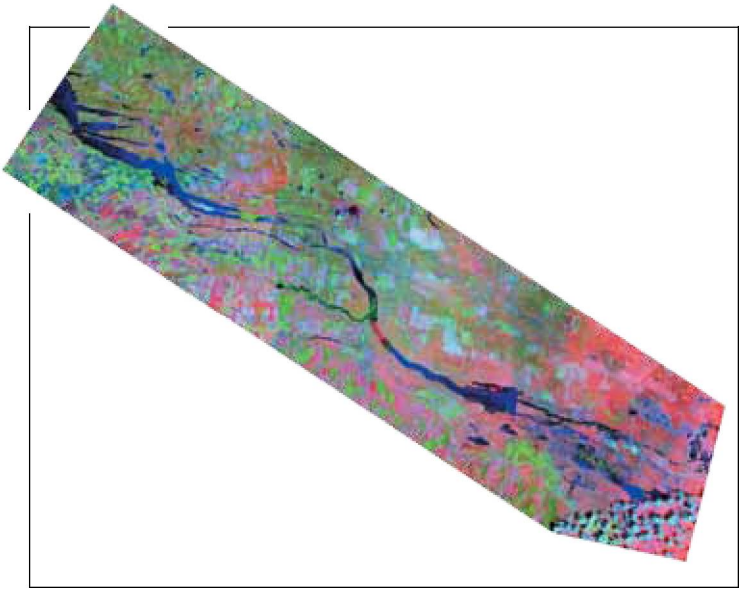


Рис. 3. **Фрагмент космического снимка Landsat 7 (комбинация каналов 7–4–2) 2019 г.**
Figure 3. Fragment of the Landsat 7 satellite image (channel combination 7–4–2) 2019.

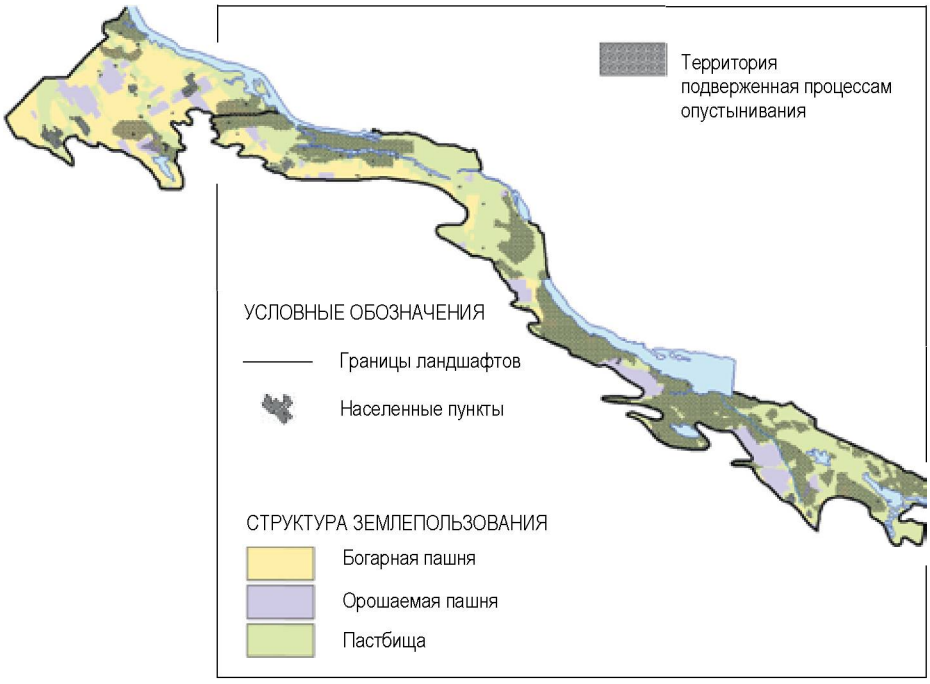


Рис. 4. **Процессы опустынивания Кумо-Манычской впадины.**
Fig. 4. processes of desertification of the Kumo-Manych depression.

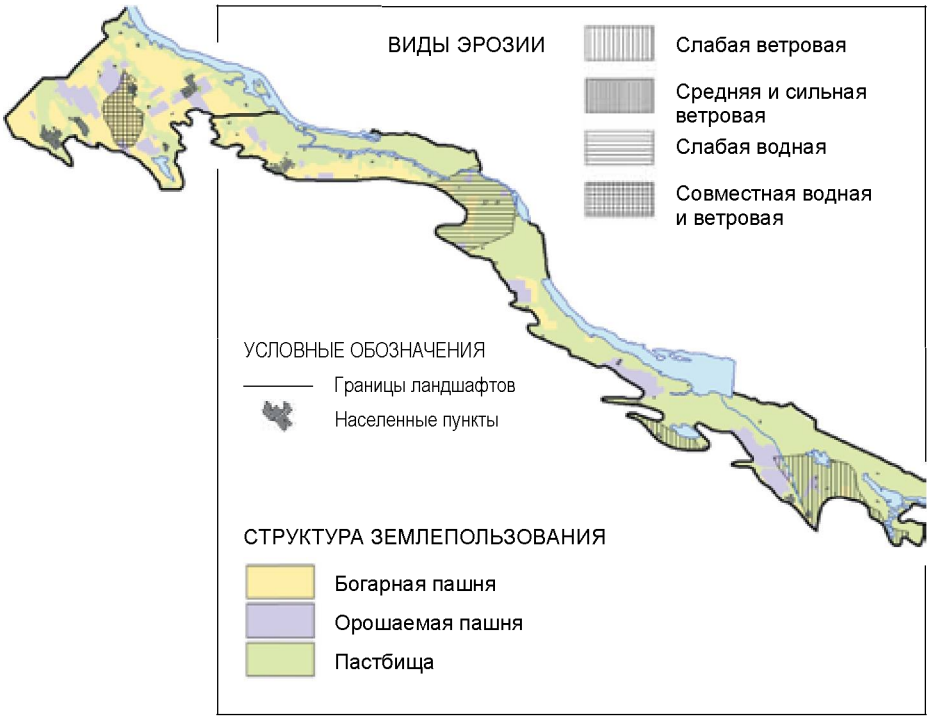


Рис. 5. **Сельскохозяйственные угодья, подверженные водной и ветровой эрозии.**
Fig. 5. Agricultural land subject to water and wind erosion.

были уничтожены в результате хозяйственной деятельности. Водность малых рек сократилась, и в настоящее время большинство из них имеют постоянный поверхностный сток только весной [Базелюк, 2007].

Орошение, без учёта рельефа, глубины залегания грунтовых вод, их минерализации, а так же погодных условий, может стать причиной эрозии, засоления, заболачивания, осолонцевания, снижения плодородия почв и вымывания солей из верхних в более глубокие горизонты почвы и как следствие, загрязнения грунтовых вод. Современная гидрография Кумо-Манычской впадины характеризуется наличием сети каналов, распределителей и других гидротехнических сооружений. Эта сеть создана с целью орошения и обводнения засушливых районов. Протяженность каналов составляет около 5000 км [Базелюк, Лурье, Панов]. Вследствие зарегулирования поверхностного стока путём строительства большого количества запруд на реках произошло снижение дренирующей способности рек и их заиление. В связи с этим поднялся уровень грунтовых вод. Оказались подтоплены не только

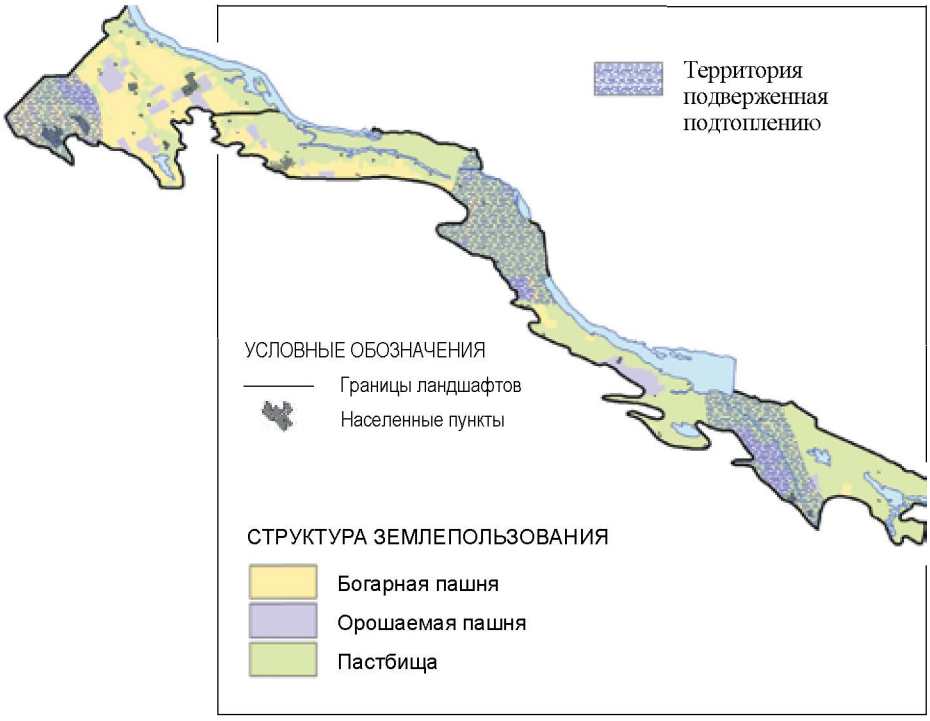


Рис. 6. **Сельскохозяйственные угодья, подверженные подтоплению.**
Fig. 6. Agricultural land subject to flooding.

орошаемые, но и прилегающие к ним богарные земли и населённые пункты (рис. 5). В связи с нарушением естественного гидрологического режима в результате орошения земель, в зоне действия магистральных каналов произошел сдвиг почвообразовательных процессов в сторону мочаризации в замкнутых понижениях и местах повышенных уровней расположения грунтовых вод. Наиболее отчетливо эти явления прослеживаются на участках, расположенных по рельефу ниже канала или крупного водоема.

Кроме ущерба, связанного с водной и ветровой эрозией, деградацию и опустынивание земель вызывает подтопление и связанное с ним вторичное засоление (рис. 6). Изменение гидрологических условий в ходе орошения и подтопления способствует развитию просадочных явлений [Нечипоренко, 2011]. Растёт степень переуплотнения почвы, активизируются суффозионные процессы (рис. 7).

Структура опасных морфогенетических процессов для ландшафтов Кумо-Манычской впадины отражена в таблице 1, анализ которой

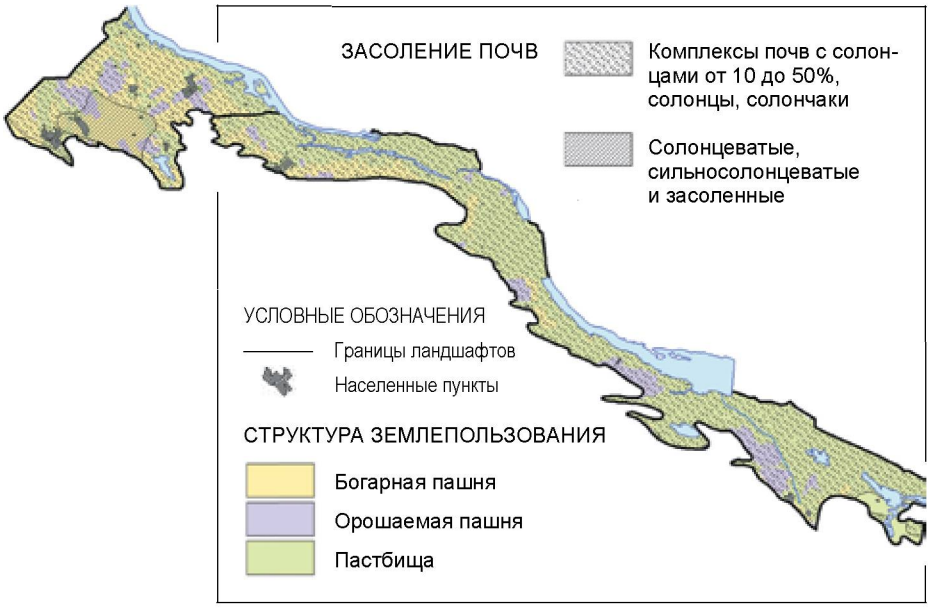


Рис. 7. **Сельскохозяйственные угодья, подверженные засолению.**
Fig. 7. Agricultural land subject to salinization.

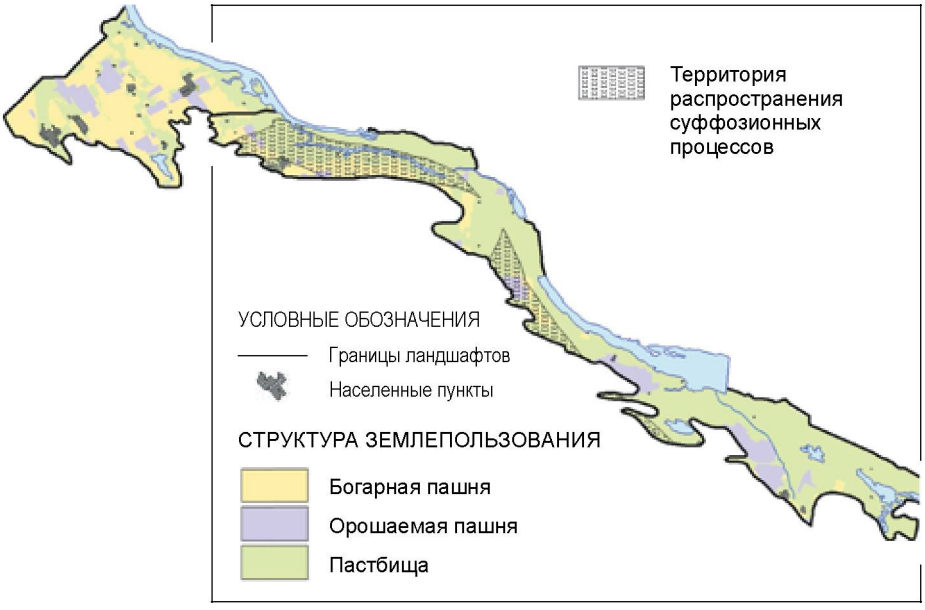


Рис. 8. **Сельскохозяйственные угодья, подверженные суффозионным явлениям.**
Fig. 8. Agricultural land subject to suffusion phenomena.

Таблица 1. СТРУКТУРА ОПАСНЫХ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КУМО-МАНЫЧСКОЙ ВПАДИНЫ ПО ГРУППАМ
Table 1. Structure of dangerous morphogenetic processes of the Kumo-Manych depression by groups

Группы	Ведущие	Сопутствующие	Второстепенные	Другие
	Западно-Манычский ландшафт			
Процессы	Засоление	Подтопление	Опустынивание, ветровая и водная эрозия	Заболачивание
Опасность в масштабах исследуемого ландшафта	высоко опасные	опасные	умеренно опасные	неопасные
Совокупная доля в общей структуре, %	61	17	9; 6; 6	1
	Чограйско-Прикаспийский ландшафт			
Процессы	Засоление	Опустынивание, подтопление	Суффозия, дефляция, водная эрозия, заболачивание	
Опасность в масштабах исследуемого ландшафта	высоко опасные	опасные	умеренно опасные	неопасные
Совокупная доля в общей структуре, %	42	19; 16	10; 5; 4; 3	

показывает, что по вкладу в общую структуру опасных морфогенетических процессов выделяются четыре группы (табл. 1).

ВЫВОДЫ

В ландшафтах Кумо-Манычской впадины первую группу составляет засоление – 61–42%. Это связано с тем, что Кумо-Манычская впадина находится в засушливой зоне с годовым количеством осадков 300–370 мм, с неглубоким залеганием грунтовых вод.

Вторую группу составляют сопутствующие процессы: в Западно-Манычском ландшафте – подтопление, в Чограйско-Прикаспийском – опустынивание и подтопление. Подтопление – антропогенно спровоцированный процесс – наиболее интенсивно развит на подко-

мандных территориях магистральных и оросительных каналов. Кроме того, активная хозяйственная деятельность привела к снижению дренирующей способности рек, вследствие зарегулирования поверхностного стока путем строительства на них большого количества запруд и водоемов, заиления и захламления рек. В связи с этим поднялся уровень грунтовых вод. В структуре морфогенетических процессов на долю сопутствующих приходится по 16–17% (подтопление) и 19% (опустынивание в Чограйско-Прикаспийском ландшафте).

Третью группу составляют второстепенные эрозионные процессы. В Западно-Манычском ландшафте это опустынивание, ветровая и водная эрозия. В Чограйско-Прикаспийском – суффозия, заболачивание, ветровая и водная эрозия.

Влияние просадочных явлений Кумо-Манычской впадины очевидно. Почвы залегают на пылеватых и, главным образом, карбонатных пылеватых рыхлых суглинках. Широко развита и техногенная суффозия. В населенных пунктах в районах подземных коммуникаций суффозия является самым опасным морфогенетическим процессом, постоянно приводящим к техногенным авариям.

Четвертую группу составляют наименее значимые в общей структуре опасные морфогенетические процессы на территории Кумо-Манычской впадины: заболачивание, седиментация и абразия в Западно-Манычском ландшафте и седиментация, и абразия в Чограйско-Прикаспийском. Заболачивание носит опасный характер на пониженных и прибрежных участках. Переброска стока привела к повсеместному увеличению стока наносов, который на р. Калаус возрос в 3,0 раза, а на р. Егорлык – в 19,8 раза. Все водохранилища интенсивно заиливаются, в результате поступления наносов со стоком рек, а также переформирования берегов. Толщина отложений в водохранилищах в конце XX столетия составляла 9–95 см, при наибольшей на Пролетарском водохранилище. Абразионные процессы приурочены к побережьям озер и водохранилищ.

Вклад других опасных морфогенетических процессов незначителен. Среди них можно отметить неблагоприятные процессы оврагообразования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атлас Ставропольского края. М., 1968.
2. Базелюк А.А. Антропогенное изменение гидрографической сети Кумо-Манычской впадины. Автореф. на соиск. уч. степеп. канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2007. 28 с.
3. Водорезов А.В., Кривцов В.А. Антропогенный морфогенез на староосвоенных территориях и его роль в формировании природных комплексов (на примере Рязанской области) // Отечес-

твенная геоморфология: прошлое, настоящее, будущее: Материалы XXX Пленума Геоморфологической комиссии РАН. СПб., 2008. С. 115–117.
4. Ивановский Л.Н. Структура ведущих экзогенных процессов на региональном уровне // География и природные ресурсы. 1989. №4. С. 14–22.
5. Кузьмин С.Б. Геолого-геоморфологический каркас для выделения классов экологической опасности территории (на примере Иркутской области) // Геоморфология. 2002. №1. С. 33–43.
6. Кузьмин С.Б. Структура опасных морфогенетических процессов территории Иркутской области // Геоморфология. 2004. №4.
7. Опасные природные процессы Северного Кавказа / под ред. В.В. Разумова. М.: Феория, 2013. С. 246.
8. Нечипоренко Л.А. Современный геологические процессы в бассейне верхнего Днепра (на территории Беларуси) // Природопользование. Вып. 20. Минск: Минсктиппроект, 2011. С. 44.
9. Сафронов И.Н. Геоморфология Северного Кавказа. Ростов н/Д.: Изд-во Ростовского ун-та. 1969. 218 с.
10. Танасиенко А.А., Путилин А.Ф., Артамонова В.С. Экологические аспекты эрозионных процессов: аналит. обзор // ГПНТБ СО РАН, Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН; науч. ред. И.М. Гаджиев. Новосибирск, 1999. 89 с. (Сер. Экология. Вып. 55).

References

1. Atlas of the Stavropol territory, Moscow, 1968.
2. Bazelyuk A. A. Anthropogenic changes in the hydrographic network of the Kumo-Manych depression. Abstract. on competition of a scientific degree. e stepp. Cand. geogr. Sciences. Rostov-on-don, 2007. 28 p.
3. Vodorezov A.V., Krivtsov V. A. Anthropogenic morphogenesis in old-developed territories and its role in the formation of natural complexes (on the example of the Ryazan region) / / Domestic geomorphology: past, present, future: Proceedings of the XXX Plenum of The geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 2008. Pp. 115–117.
4. Ivanovsky L. N. Structure of leading exogenous processes at the regional level / / Geography and natural resources. 1989. No. 4. Pp. 14–22.
5. Kuzmin S. B. Geological and geomorphological framework for the allocation of environmental hazard classes of the territory (on the example of the Irkutsk region) // Geomorphology. 2002. No. 1. Pp. 33–43.
6. Kuzmin S. B. Structure of dangerous morphogenetic processes in the Irkutsk region //Geomorphology. 2004. №4.
7. Dangerous natural processes of the North Caucasus / ed. By V.V. Razumov, Moscow: Feoria, 2013, p. 246.

8. Nechiporenko L. A. Modern geological processes in the upper Dnieper basin (on the territory of Belarus) // nature Management. Issue 20. Minsk, Minsktipproekt, 2011. P. 44.
9. Safronov I.N. Geomorphology Of The North Caucasus. Publishing house of the Rostov University, 1969, 218 p.
10. Tanasiyenko A.A., Putilin A.F., Artamonova V.S. Ecological aspects of erosion processes: analit. review / GPNTB SB RAS, Institute of soil science and Agrochemistry SB RAS; Scientific ed. Novosibirsk, 1999. 89 p. (Ser. Ecology. Issue 55).

Поступило в редакцию 14.08.2020,
принята к публикации 01.09.2020.

Сведения об авторах

Диденко Павел Анатольевич, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и кадастров СКФУ.

Каторгин Игорь Юрьевич, кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики СКФУ.

Юрин Дмитрий Викторович, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и кадастров СКФУ.

Роман Александр Николаевич, кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики СКФУ.

About the authors

Pavel Didenko, Candidate of geographical Sciences, associate Professor of the Department of physical geography and cadastres of NCFU.

Katorgin Igor, Candidate of geographical Sciences, associate Professor of the Department of cartography and Geoinformatics of NCFU.

Yurin Dmitry, Candidate of geographical Sciences, associate Professor of the Department of physical geography and cadastres of NCFU.

Roman Alexander, Candidate of geographical Sciences, associate Professor of the Department of cartography and Geoinformatics of NCFU.

25.00.35
УДК 528.9; 911.2

ГЕОИНФОРМАТИКА

Махмудов Р.К.,
Верозуб Н.В.

ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Ставрополь, Россия
rakimkam@mail.ru, verozub_95@mail.ru

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРИСТКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Введение: туристская отрасль может стать одной из системообразующих в Ставропольском крае, способствующей развитию многих отраслей экономики, росту занятости населения и достижению показателей стратегии социально-экономического развития региона. Для создания на территории любого масштаба (районе, городе, музее-заповеднике) туристской индустрии необходимо комплексное освоение потенциала, не фрагментарное, а мощное, полномасштабное объединение всех видов туристских ресурсов. Наиболее полное раскрытие туристско-рекреационного потенциала Ставропольского края, управление и эффективное развитие туристического бизнеса напрямую зависит от использования современных инновационных технологий. Одним из наиболее действенных инструментов подобного информационного обеспечения является создание комплексных информационных систем, базирующихся на передовых геоинформационных технологиях.

Материалы и методы исследований: в процессе работы использованы методы геоинформационного моделирования и картографирования, математические и статистические методы. В качестве базовой ГИС-платформы выступает геоинформационная система QGIS, обладающая широким набором приложений и инструментов для подготовки картографических моделей. Основным источником получения информации о таксономических единицах высотной поясности растительности являлись растровые данные SRTM, в которых заложена информация о высоте, многоканальные космические снимки Sentinel, Landsat. Основным источником месторасположения ООПТ, гидроминеральных источников, памятников истории и культуры, объектов туристской инфраструктуры являлись открытые данные Министерства природных ресурсов и экологии РФ, профильных министерств Ставропольского края и картографические материалы схем территориального планирования и генеральных планов муниципальных образований.

Результаты исследований и их обсуждения: в работе представлен авторский опыт разработки ГИС-проект «Туристско-рекреационные ресурсы и туризм Ставропольского края». В итоге получены карты инфраструктуры туристско-рекреационного освоения, которые позволили установить закономерности территориальной организации туристско-рекреационного пространства Ставропольского края. Апробация полученных результатов проводилась в схеме территориального планирования Ставропольского края. Идентификация, определение и ранжирование туристско-рекреационных зон Ставропольского края были выполнены на основе анализа пространственного распределения туристических достопримечательностей и инфраструктуры в среде ГИС.

Выводы: процессы пространственного управления и планирования развития отрасли неразрывно связаны с обработкой, анализом и моделированием больших массивов данных. Результаты, представленные в настоящей работе, показали эффективность использования ГИС-технологий для оперативного анализа особенностей пространственного распределения элементов опорного туристско-рекреационного каркаса. Предложенная методика и результаты исследований содержат большой потенциал для дальнейшей формализации и интерпретации геоданных.

Ключевые слова: геоинформационные системы, туристско-рекреационные зоны, моделирование территории в ГИС, территориальное планирование, геоинформационный и пространственный анализ территорий.

Makhmudov R.K., Verozub N.V.
North-Caucasian Federal University,
Stavropol, Russia
rakimkam@mail.ru, verozub_95@mail.ru

Geo-Information Design and Large-Scale Tourist Maps

Introduction: The tourism industry can become one of the backbone industries in the Stavropol Territory, contributing to the development of many sectors of the economy, the growth of employment and the achievement of indicators of the strategy of socio-economic development of the region. To create a tourism industry on a territory of any scale (district, city, museum-reserve), a comprehensive development of the potential is necessary, not fragmentary, but a powerful, full-scale association of all types of tourist resources. The most complete disclosure of the tourist and recreational potential of the Stavropol Territory, management and effective development of the tourism business directly depends on the use of modern innovative technologies. One of the most effective tools for such information support is the creation of integrated information systems based on advanced geographic information technologies.

Materials and methods of the research: In the process of work, methods of geoinformation modeling and mapping, mathematical and statistical methods were used.
The basic GIS platform is the QGIS geographic information system, which has a wide range of applications and tools for preparing cartographic models. The main source of information on the taxonomic units of the altitudinal zonality of vegetation was the SRTM raster data, which contains information about the altitude, multichannel satellite images of Sentinel, Landsat. The main source of the location of protected areas, hydro-mineral springs, monuments of history and culture, objects of tourist infrastructure were open data of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, relevant ministries of the Stavropol Territory and cartographic materials of territorial planning schemes and master plans of municipalities.

The results of the study and their discussion: The paper presents the author's experience in developing a GIS project "Tourist and recreational resources and tourism of the Stavropol Territory". As a result, maps of the infrastructure of tourist and recreational development were obtained, which made it possible to establish the regularities of the territorial organization of the tourist and recreational space of the Stavropol Territory. The results were tested in the territorial planning scheme of the Stavropol Territory.
Identification, definition and ranking of tourist and recreational zones of the Stavropol Territory were carried out on the basis of the analysis of the spatial distribution of tourist attractions and infrastructure in the GIS environment.

Conclusions: The processes of spatial management and planning of industry development are inextricably linked to the processing, analysis and modeling of large data sets.The results presented in this work have shown the effectiveness of using GIS technologies for the operational analysis of the features of the spatial distribution of the elements of the supporting tourist and recreational framework. The proposed methodology and research results contain great potential for further formalization and interpretation of geodata.

Key words: geographic information systems, recreation, tourism, territory modeling in gis, territorial planning, geographic information and spatial analysis of territories.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие туристской инфраструктуры должно основываться на полноценном использовании природного и историко-культурного наследия, высокого рекреационного потенциала региона и исключение (или минимизацию) ущерба окружающей среде. При решении этой проблемы особое значение приобретает определение места туристских территорий в общей системе функционального зонирова-

ния Ставропольского края, выявление и резервирование территорий для развития туризма и их рациональное использование.

Анализ современного состояния туристско-рекреационного комплекса показывает, что Ставропольский край располагает значимыми туристско-рекреационными ресурсами (природно-климатическими, историко-культурными, материально-техническими и др.) для развития рекреационной отрасли, которые еще не освоены в полной мере.

Рекреационная деятельность исторически была отраслью хозяйственной специализации региона и имеет все предпосылки для дальнейшего развития.

Развитие санаторно-курортного, рекреационно-туристического комплекса края считается важной стратегической задачей развития Ставрополья.

Особенностью туристической отрасли региона является ярко выраженная направленность в сторону лечебно-оздоровительного туризма – около 70% туристов приезжают в регион с оздоровительной целью. На долю Ставропольского края приходится 17% оздоровительного туризма России в целом. Туристский поток в течение последних лет характеризуется тенденцией к росту. Санаторно-курортный и туристский комплексы Ставропольского края в 2017 году приняли на лечение и отдых 1 415,2 тыс. человек, в том числе: санаторно-курортный комплекс – 558,9 тыс. человек; гостиницы и мотели – 770,1 тыс. человек; частный сектор – 86,2 тыс. человек [1].

С 2013 по 2017 гг. количество туристов посетивших Ставропольский край увеличилось на 23,5%

Согласно документам стратегического развития туризма в Ставропольском крае основными видами туризма являются: лечебно-оздоровительный, культурно-познавательный и деловой туризм[1].

Ставропольский край, располагая уникальными климато-бальнеологическими ресурсами и живописными природными ландшафтами, имеют широкие возможности для развития разнообразных видов туризма: лечебно-оздоровительного, экологического, делового, сельского, экстремально-спортивного, культурно-познавательного. На сегодняшний день основным для края является лечебно-оздоровительный туризм.

Для края характерна пространственная неравномерность туристской деятельности, которая определяется как потенциалом территории, так и уровнем освоения этого потенциала. Основным туристическим центром региона являются Кавказские Минеральные Воды.

1 Стратегия развития туризма в Ставропольском крае до 2030 года. Утверждена приказом министерства туризма и оздоровительных курортов Ставропольского края от 25.05.2018 N 81/од

Анализ существующей ситуации выявил ряд проблем, негативно влияющих на развитие туризма, а именно:

— недостаточное использование историко-культурного потенциала, в значительной степени обусловленное плохим состоянием памятников и исторических зон;
— интенсивное и непрофильное использование территорий в ряде зон, расположенных в городах КМВ; несовпадение градостроительных намерений инвесторов по созданию объектов недвижимости и возможностей территории, с учетом имеющихся планировочных ограничений по её использованию;
— несоответствие существующей структуры туристско-рекреационного комплекса спросу и изменившимся потребностям рынка. В первую очередь в сфере детского и семейного отдыха;
— высокий уровень физического и морального износа основных фондов существующих объектов туристско-рекреационной сферы, безликая архитектура и низкий уровень благоустройства территорий зон и объектов;
— недостаточное развитие туристской инфраструктуры: гостиниц эконом-класса, тематических парков, аквапарков, кафе, баров, магазинов, стоянок автотранспорта, пунктов проката, досуговых и спортивных центров, парковых дорог и т. д.;
— недостаточный уровень развития рекламы и информации. На территории края за пределами городов практически отсутствует система информации о туристских достопримечательностях региона и отдельных зон, объектах размещения всех типов, туристской инфраструктуры
— недостаточность организационно-правовых и экономических механизмов, стимулирующих развитие туризма и рекреации как одной из приоритетных отраслей хозяйственной специализации края;
— отсутствие современной городской туристической инфраструктуры (выставочных центров, конгресс-холлов и других объектов делового туризма, велодорожек, туристско-информационных центров и т.д.) для развития различных видов туризма;
— фрагментарность пространственной организации туризма на территории края.

Принятие решений по развитию и планированию туризма становится все более сложным, поскольку организации и сообщества вынуждены соглашаться с конкурирующими экономическими, социальными и экологическими требованиями устойчивого развития. Географические информационные системы (ГИС) можно рассматривать как инструментальный набор методов и технологий, широко применимых для достижения устойчивого развития туризма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве общей методологической основы научно-исследовательской работы выбраны теория устойчивого развития и теория территориальных социально-экономических систем.

Геоинформационный подход объединяет различные методы, призваны обеспечить сбор, хранение анализ и отображение геоданных, а также обеспечить согласованность документов территориального планирования и туристско-рекреационного зонирования Ставропольского края. Среди ключевых, используемых при проведении исследования являются следующие методы: картографический, дистанционного зондирования Земли, статистический, типологической группировки, математические методы, методы пространственного анализа.

В качестве базовой ГИС-программы была использована QGIS обладающая широкими возможностями для картографирования различных масштабов, а также проведения анализа данных способом тепловых карт. Дополнительный инструмент визуализации картографических данных графический редактор Illustrator. Многие современные ГИС-пакеты имеют функцию построения ЦМР. В данной работе был использован модуль Qgis2theejs Explorter.

Информационной базой для проведения исследования послужили: схема территориального планирования и туристические карты Ставропольского края, генеральные планы муниципальных образований края.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Авторами показан алгоритм использования ГИС в пространственном анализе туристско-рекреационных ресурсов.

Методика интегральной оценки туристско-рекреационного потенциала Ставропольского края включает четыре основных этапа и основывается на способе зонирования. Основные показатели рекреационного потенциала территории делятся на 2 блока: природные условия и ресурсы, и социально-экономические условия.

Интегральная (суммарная) оценка туристического потенциала состояла из нескольких основных этапов.

На первом этапе проведен сбор и анализ данных. Для каждого раздела предложены абсолютные (первичные) и относительные (вторичные) показатели, которые вычисляются, обрабатываются и сохраняются в ГИС. Данный этап включил в себя физико-географическую характеристику исследуемой территории, анализ географического положения, анализ развитости транспортной инфраструктуры и доступности отдельных туристических доминант для различных категорий туристов, сбор информации о расположении коллективных средств размещения и др. В результате была создана пространственно-атрибутивная база данных.

Из блока природных ресурсов туристско-рекреационного потенциала использованы показатели: расчлененность рельефа, абсолютные высоты местности, протяженность речной сети, площадь водного зеркала, площадь лесных массивов, показатель биоразнообразия растительного покрова, площади особо охраняемых природных территорий.

Из блока социально-экономических показателей использованы: количество объектов историко-культурного наследия федерального или регионального значения, наличие объектов лечебно-оздоровительного туризма (санатории, отделения восстановительной медицины, детские лагеря, специализированные медицинские центры), количество коллективных средств размещения (гостиниц, баз отдыха, кемпингов), показатели, характеризующие транспортную доступность территории.

Вторым этапом оценки туристско-рекреационного потенциала Ставропольского края стал расчет выбранных природных и социально- экономических показателей. Для визуализации результатов исследования применялся способ картограмм. Основной минимальной территориальной единицей картограммы, в пределах которой производился расчет отдельных показателей и их сумма, выбрана ячейка (гексагональный оператор) стороной 10 км (рис. 1).

В работе фигурировало 3 класса оцениваемых объектов: точечные, линейные и площадные. Для оценки точечных объектов использовалась функция расчета количества точек в полигоне, для оценки линейных объектов использовалась функция «сумма расстояний».

Подсчет площадных компонентов (например, водоемов) производился путем преобразования в точки, с помощью функции «центроиды» и последующей оценкой объектов по алгоритму точечных с применением взвешивания по площади.

Тритий этап – перевод вычисленных значений показателей (длина рек в ячейке, площадь лесов в ячейке и т.д) в баллы. При интеграции (суммировании) вычисленных показателей в пределах элементар-

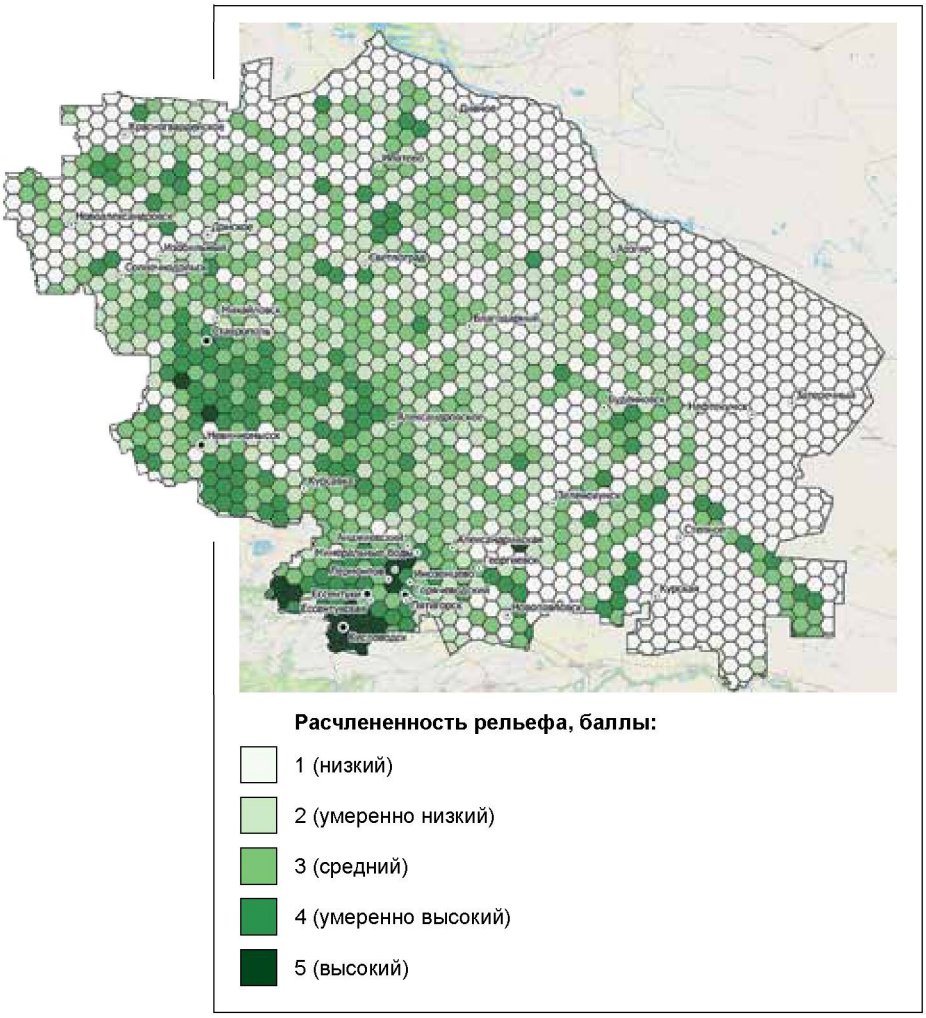


Рис. 1. **Картограмма расчлененности рельефа в Ставропольском крае.**
Fig. 1. Cartogram of the dissection of the relief in the Stavropol Territory.

ных операционно-территориальных единиц (ячейках) использовался балльный подход (табл. 1). Для классификации по баллам применялся алгоритм естественных границ Дженкенса.

В методе классификации Дженкенса, классы основаны на естественном группировании данных. Границы классов определяются таким образом, чтобы сгруппировать схожие значения и максимально увеличить различия между классами. Объекты делятся на классы, границы которых устанавливаются там, где встречаются относительно большие различия между значениями данных.

Таблица 1. ШКАЛА БАЛЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ЗОНИРОВАНИЯ

Table 1. Scale of point assessment of indicators of tourist and recreational zoning

Наименование показателя	Единица измерения	Баллы				
		1	2	3	4	5
Рельеф, линейно-эрозионное расчленение	м	0–44238	44239–139146	139146–290595	290595–571599	571599–1108335
Гидрография, общая протяженность речной сети	м	0–16086	16086 – 45036	45036 – 83476	83476 – 152396	152396 – 266995
Гидрография, суммарная площадь водных объектов	га	0–156	156–615	615–1660	1660–5925	5925–8860
Количество минеральных источников	Ед.	0.0–1	0.0–1.0	1.0–2.0	2.0–3.0	3.0–8.0
Лесистость	га	0–200	200–800	800–1900	1900–4900	4900 – 7700
Общая площадь ООПТ	га	0.00 – 1117.00	1117.00–6683.00	6683.00–28419.00	28419.00-43633.00	43633.00–72738.00
Количество памятников истории и архитектуры	ед.	0–2	2–12	12– 35.0	35–105	105–177
Количество объектов лечебно-оздоровительного туризма	ед.	0–1	0 – 3	3 – 7	7 – 15	15 – 27
Протяженность транспортной сети	м	0.00 – 5625.45	5625.45 – 15967.51	15967.51 27272.83	27272.83 45156.96	45156.96 – 83256.61
Объекты транспортной инфраструктуры, количество аэропортов, железнодорожных вокзалов, автовокзалов	ед	0–1	0 – 1	1 – 3	3 – 6	6 – 11
Количество коллективных средств размещения туристов	ед	0–1	1 – 5	5 – 10	10 – 24	24 – 46

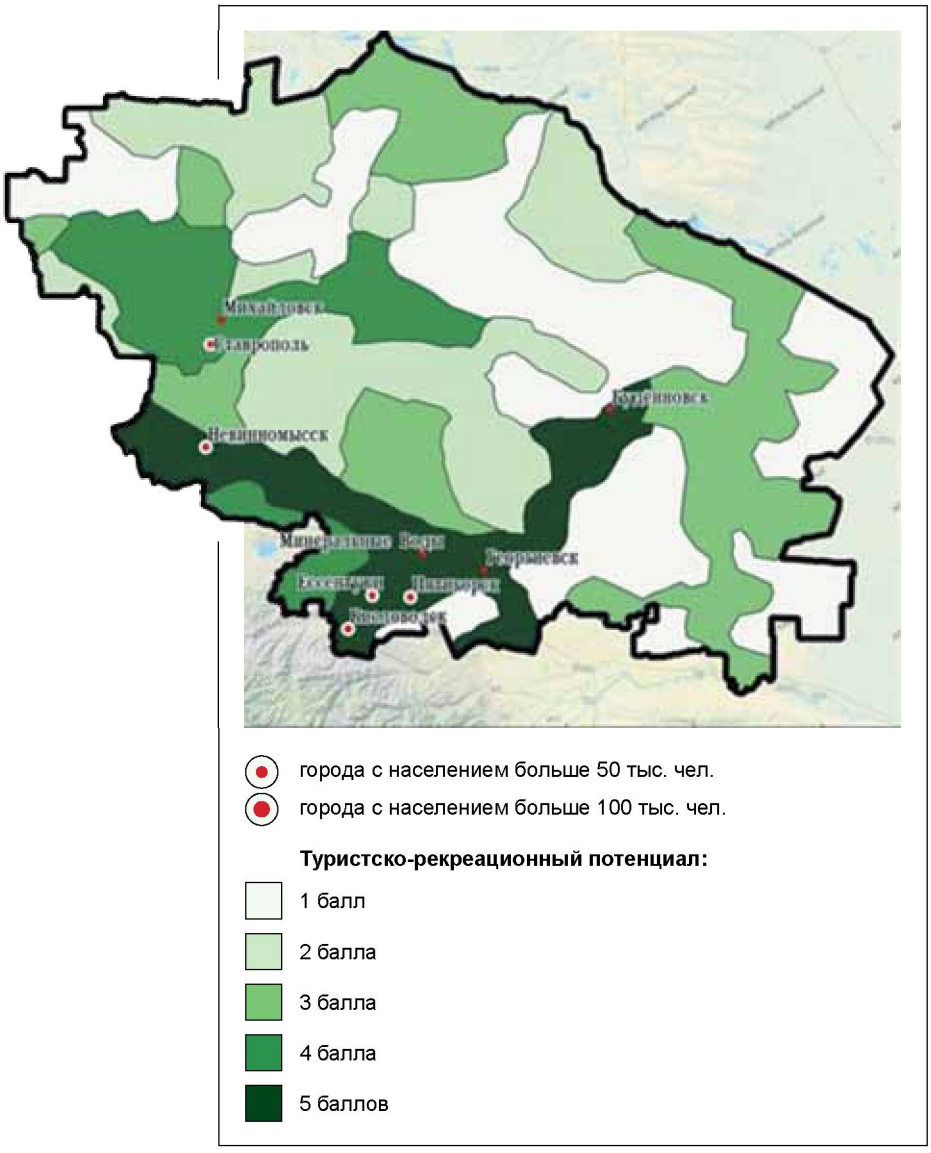


Рис. 2. **Схема туристско-рекреационного зонирования Ставропольского края.**
Fig. 2. Scheme of tourist and recreational zoning of the Stavropol Territory.

Четвертым этапом произведена интегральная оценка, которая складывается из суммы средних баллов всех, указанных ранее, показателей в каждой ячейке.

В результате суммирования природных и социально-экономических показателей были выделены зоны с наибольшим и наименьшим туристско-рекреационным потенциалом (рис. 2).

Наиболее высокую оценку в баллах получили территории эколого-курортного региона КМВ, Кочубеевский район и часть Георгиевского городского округа, это объясняется наличием уникальных форм ландшафтов, высоким пейзажным разнообразием территорий в совокупности с высокой транспортной доступностью и транзитностью местных населенных пунктов, а так же исторически сформированным санаторно-курортным комплексом и наличием коллективных средств размещения туристов.

Кроме того, высоким потенциалом по совокупным показателям обладает территория Ставропольской возвышенности, четко выраженной в рельефе среди степных территорий Предкавказья. Здесь выделяются лесные массивы «Русский лес», «Мамайская лесная дача», заказник Стрижамент. Уникальное реликтовое озеро «Вшивое» и другие природные ресурсы. Кроме того, город Ставрополь, как региональный центр и крупнейший город края имеет и социально-экономическое преимущество для развития рекреации. В частности, наличие культурно-исторических объектов, высокой благоустроенностью территории и развитостью транспортных путей.

Развитие туристско-рекреационного комплекса Ставропольского края планируется осуществлять посредством сохранения и реконструкции существующих объектов, создания новых объектов и туристических маршрутов, а также с помощью создания инвестиционных площадок в сфере развития туризма и рекреации.

На территории Ставропольского края согласно документам стратегического планирования, документам социально-экономического развития, реестру инвестиционных проектов Ставропольского края, а также предложениям органов местного самоуправления планируется строительство и реконструкция учреждений отдыха и туризма, организация мест отдыха общего пользования и туристических маршрутов.

Сложность и высокая интегрированность туристской отрасли с другими отраслями экономики определяет необходимость систематизации туристского потенциала Ставропольского края по принципу зонирования.

На основе проведённой интегральной оценки туристического потенциала предлагается создание опорных туристско-рекреационных зон в соответствии со специализацией и определение основных направлений развития каждой; использование транспортно-географического положения края в целях развития внутреннего и въездного туризма.

Типологические особенности рекреационных зон характеризуют:

1) функциональную направленность туристско-рекреационной деятельности;

2) её ориентацию на внешний или внутренний спрос;
3) степень развития инфраструктуры.

Предполагаемые опорные туристско-рекреационные зоны в Ставропольском крае:

1. «Кавказские Минеральные Воды»:
— городские округа: город-курорт Кисловодск; город-курорт Пятигорск, город-курорт Железноводск, город-курорт Ессентуки, город Лермонтов, Минераловодский, Георгиевский.
— муниципальный округ: Предгорный.

Объекты притяжения: санаторно-курортный комплекс городов-курортов КМВ; объекты историко-культурного наследия городов-курортов КМВ, национальный парк Кисловодский; терренкуры.

Специализация: лечебно-оздоровительный туризм; экологический, культурно-познавательный туризм; экстремально-спортивный туризм.

2. «Ставропольская»:
— городские округа: город Ставрополь, город Невинномысск, город Михайловск, Изобильненский.
— муниципальные округа: Кочубеевский, Грачевский, Шпаковский.

Объекты притяжения:

Новотроицкое водохранилище (п. Солнечнодольск, Изобильненскй городской округ); г. Стрижамент; заказник «Русский лес» с видовыми площадками на Сенгилеевское водохранилище; объекты историко-культурного наследия; Ставропольский государственный историко-культурный и природно-ландшафтный музей-заповедник имени Г.Н. Прозрителева и Г.К. Праве (г. Ставрополь, Шпаковский район), Ставропольский ботанический сад им. В.В. Скрипчинского (г. Ставрополь), р. Кубань (Кочубеевский район); музейно-выставочный комплекс «Россия – моя история» (г. Ставрополь), термальные источники (с. Казьминское, х. Беловский, Кочубеевский район); комплекс соломенных фигур (Грачевский район).

Специализация: культурно-познавательный туризм; экстремально-спортивный туризм; аграрный туризм; рыболовно-охотничий туризм, этнографический туризм.

3. «Северо-Западная»:
— городские округа: Новоалександровский.
— муниципальные районы: Красногвардейский и Труновский.

Объекты притяжения: сеть прудов и водоёмов; р. Егорлык, р. Кубань, памятники истории (Азово-Моздокская линия), археологии и культуры (Красногвардейский район) природный заказник «Соленое озеро» (п. Медвеженский, Красногвардейский район), природный заказник краевого значения «Красногвардейский», охотничьи хозяйства.

Специализация: Рыболовно-охотничий туризм.

«Центральная»:
— городские округа: Благодарненский, Петровский.
— муниципальные районы: Александровский, Новоселицкий.

Объекты притяжения: ГБУК СК «Светлоградский историко-краеведческий музей имени И.М. Солодилова» (г. Светлоград), природный заказник краевого значения «Соленое озеро» (Петровский городской округ), Виноградная усадьба «Журавушка» (Благодарненский городской округ, хутор Большевик), охотничьи хозяйства, ландшафты Прикалаусских высот, гостиничный комплекс «Золотые пески» (Новоселицкий район), пчеловодческая усадьба «Пчелиный двор» (Александровский район, с. Александровское).

Специализация: аграрный туризм; рыболовно-охотничий туризм, экологический туризм, культурно-познавательный туризм, этнографический туризм.

«Восточная»:

Городские округа и поселения: Советский, Нефтекумский, город Будённовск.

Муниципальные районы: Апанасенковский, Арзгирский, Буденновский, Курский, Левокумский, Новоселицкий, Туркменский.

Объекты притяжения: оз. Маныч-гудило; Чограй; Винные предприятия; Этнографический комплекс Левокумье, туристско-охотничий комплекс «Маныч-Гудило» (с. Дивное, Апанасенковский район).

Специализация: рыболовно-охотничий туризм; аграрный туризм; экологический туризм; экстремально-спортивный туризм; этнографический туризм.

Границы опорных туристско-рекреационных зон представлены на картасхеме.

Рисунок 3. **Туристско-рекреационные районы Ставропольского края.**
Fig. 3. Tourist and recreational areas of the Stavropol territory.

ВЫВОДЫ

Ставропольский край, располагая уникальными климато-бальнеологическими ресурсами и живописными природными ландшафтами, имеет широкие возможности для развития разнообразных видов туризма: лечебно-оздоровительного, экологического, делового, сельского, экстремально-спортивного, культурно-познавательного. На сегодняшний день основным для края является лечебно-оздоровительный туризм.

Для края характерна пространственная неравномерность туристской деятельности, которая определяется как потенциалом террито-

рии, так и уровнем освоения этого потенциала. Основным туристическим центром региона являются Кавказские Минеральные Воды.

Развитие опорных туристско-рекреационных зон в Ставропольском крае планируется через реализации комплекса мероприятий:

— реализация инвестиционных проектов в санаторно-курортном секторе, ввод не менее 20 тыс. номеров средств размещения;
— строительство сети этнотуристических комплексов;
— строительство сети агроэкотуристических центров;
— строительство туристических рыболовно-охотничьих комплексов;
— строительство межрегиональных и локальных автотуристских комплексов и развитие придорожной сети объектов туристского обслуживания;
— включение территории КМВ в список Всемирного наследия ЮНЕСКО;
— придание статуса исторических поселений регионального значения муниципальным образованиям Ставропольского края;
— реставрация, ремонт, консервация памятников, благоустройство территории, учет требований охраны памятников и их охранных зон при проведении реконструктивных работ;
— оборудование парковочных мест в зонах отдыха и возле объектов туризма;
— организация системы туристской навигации на дорогах края.

В качестве потенциальных центров активации туризма на территории Ставропольского края можно выделить следующие опорные туристско-рекреационные зоны (точки роста): «Эко-курорт Кавказские Минеральные Воды» и «Ставропольская».

Библиографический список

1. Схема территориального планирования Ставропольского края, утверждена Правительством Ставропольского края от 05 апреля 2017 года №116-п.
2. Гладкий А.В., Скляров А.А. Современные картографические модели и особенности их использования в туризме // Псковский регионологический журнал. №1 (29), 2017. 34 с.
3. Колбовский Е.Ю. Экологический туризм и экология туризма. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 145 с.

4. Краак М. Я., Ормелинг Ф. Картография: визуализация геопространственных данных. М.: Научный мир, 2005. 350 с.
5. Чижова В.П. Рекреационные Ландшафты: устойчивость, нормирование, управление. Смоленск: Ойкумена, 2011. 65 с.
6. Чижова В.П., Шлякова Е.С. Рекреационный потенциал Ландшафтов Алтачейского заказника // Вестник Московского университета. Серия 5. География. М., 2017. 90–93 с.
7. Тульская И.Н. Шабалина Н.В. Математико-картографическое моделирование для оценки туристско-рекреационного потенциала территории (на примере Центрального федерального округа) // Мат-лы Всероссийской научно-практической конференции "Картография и геоинформатика в исследованиях изменений природной среды и общества, посвящённой 80-летию кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ. М, 2012. 319 с.
8. Шевырёв С. Л. Алгоритмизация дистанционного анализа Структурновещественных парагенезисов золоторудных районов (многовершинное рудное поле, Хабаровский Край) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: геология, №2. Воронеж, 2017. 115–121 с.
9. Махмудов Р.К., Стоек Ю.О., Черкасов А.А. Проектирование и составление туристской карты Ставропольского края // Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата: материалы международной конференции «ИнтерКарто/ИнтерГИС – 22»; Т. 2. – Протвино , 2016. С. 166–174.

References

1. The spatial planning scheme of the Stavropol Territory, approved by the government of the Stavropol territory from April 05, 2017 No. 116-p.
2. Gladkiy A.V., Sklyarov A.A. / Modern cartographic models and features of their use in tourism / article in the journal "Pskov Regional Journal No. 1 (29) / 2017"
3. Kolbovskiy E.Yu. Tourisme écologique et écologie du tourisme. M.: Centre d'édition "Academy", 2006, 145 p.
4. Kraak M. Ya., Ormeling F. Cartographie: visualisation de données géospatiales. Moscou: Monde scientifique, 2005.350 p.
5. Chizhova VP Paysages récréatifs: stabilité, réglementation, gestion. Smolensk: Oikumena, 2011, 65 p.
6. Chizhova V.P., Shlyakova E.S. Potentiel récréatif des paysages de la réserve d'Altachey. «Bulletin de l'Université de Moscou. Série 5. Géographie "M, 2017. 90–93 p.
7. Tulskaya I.N. Shabalina NV Modélisation mathématique et cartographique pour l'évaluation du potentiel touristique et récréatif du territoire (sur l'exemple du District Fédéral Central). Matériaux de la conférence scientifique et pratique panrusse "Cartographie et géoinformatique dans l'étude des changements dans l'environnement

naturel et la société, consacrée au 80e anniversaire du Département de cartographie et de géoinformatique de la Faculté de géographie de l'Université d'État de Moscou. Moscou, 2012. 319 p.
8. Shevyrev SL Algorithmisation de l'analyse à distance des paragenèses structurales et matérielles des régions de minerai d'or (champ de minerai à pics multiples, Krai de Khabarovsk). Bulletin de l'Université d'État de Voronej. Série: Géologie, n ° 2. Voronej, 2017. 115–121 p.
9. Makhmudov R.K., Stoek Yu.O., Cherkasov A.A. Conception et réalisation d'une carte touristique du territoire de Stavropol // Géoinformation au soutien du développement durable des territoires dans le contexte du changement climatique global: matériaux de la conférence internationale "InterCarto / InterGIS – 22"; Vol. 2. – Protvino, 2016, 166 – 174 p.

Поступило в редакцию 22.08.2020,
принята к публикации 01.09.2020

Об авторах

Махмудов Раким Камилович, доцент кафедры геоинформатики и картографии Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 8–909–773–31-00. E-mail: rakimkam@mail.ru

Верозуб Наталья Владимировна, аспирант 1-го года обучения направления 05.06.01 «Науки о земле». Телефон: 8905–499–18–83. E-mail: verozub_95@mail.ru

About authors

Makhmudov Rakim Kamilovich, associate Professor, Department of Geoinformatics and cartography, North Caucasus Federal University. Phone: 8–909–773–31-00. E-mail: rakimkam@mail.ru

Verozub Natalia Vladimirovna, post-graduate student of the 1st year of study in the direction 05.06.01 "earth Sciences". Phone: 8905–499–18–83. E-mail: verozub_95@mail.ru

НАУКИ О ЗЕМЛЕ
«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ», №3, 2020

25.00.35
УДК 528.9; 911.2

ГЕОИНФОРМАТИКА

Черкасов А.А. ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь, Россия. cherkasov_stav@mail.ru

ГИС «ГОРОДА РОССИИ»: ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА

Введение: основная идея современного пространственного развития России заключается в опоре на ключевые центры концентрации населения и экономики. Большие города выступают в качестве основных фундаментальных узлов расселенческого каркаса страны, максимально аккумулирующих человеческие ресурсы, т.е. демографическое развитие является главной предпосылкой экономического, стратегического и культурного развития города. Применение геоинформационных подходов для организации мониторинговых систем, выступающих в качестве инструмента для изучения особенностей формирования сети городов, в том числе относящихся по численности к большим, рассматривающих социально-экономические процессы, демонстрируют свою высокую эффективность, которая заключается в возможности оперативного сбора и обработки пространственных данных, наглядности, возможности сравнивания моделей в пространстве и во времени. Настоящее исследование посвящено созданию геоинформационной системы «ГИС «Города России», её мониторинговым возможностям, формированию базы геоданных, инструментам пространственного анализа и апробации её возможностей.

Материалы и методы исследований: авторы используют группу методов и подходов, позволяющих системно организовать ГИС «Города России». Во главе идеи ГИС находится принцип полимасштабности, позволяющий, в соответствии с АТД Российской Федерации организовать геоданные и подготовить картографическую основу. Для анализа одного и того же процесса применяется многовариантное ГИС-моделирование и картографирование, что повышает качество пространственного анализа.

Результаты исследований и их обсуждения: ГИС «Города России» является комплексной платформой, в рамках которой осуществлена полимасштабная организация данных (страна, регион, город, район, квартал). Данная ГИС обеспечивает картографирование, моделирование и прогнозирование этнодемографических, миграционных, социально-экономических процессов в больших городах страны. В основе функционирования ГИС предусмотрены возможности сравнения городов в пространстве и во времени, учитывая их численность населения, сопоставляя процессы в городах с общестрановыми и региональными тенденциями развития заявленных процессов, а также с возможностью изучения процессов с точки зрения внутригородского развития. Апробация ГИС «Города России» осуществлялась на примере анализа индекса этнической мозаичности (ИЭМ) в больших городах России. Для анализа ИЭМ подготовлены картографические модели методами качественного и количественного фона, а также с использованием метода многофакторного анализа, который заключается в сопоставлении данных о численности населения, индекса этнической мозаичности, и интенсивности изменения ИЭМ.

Выводы: ГИС «Города России» и её последующее развитие позволит комплексно подойти к исследованию этнодемографических, миграционных и социально-экономических процессов в больших городах, что повысит качество принятия управленческих решений в отношении пространственного развития страны. Апробация ГИС уже на первом этапе показала высокие функциональные возможности и потенциал для дальнейшего развития системы. Анализ индекса этнической мозаичности в больших городах, с использованием многовариантного моделирования позволил выявить не только города с наиболее и наименее сложной этнической структурой населения, но и увидеть территориальные особенности изменения ИЭМ в больших городах. Наглядную картину представили картографические материалы, позволившие увидеть особенности географии городов в зависимости от скорости смены ИЭМ. Создание и развитие ГИС «Города России» открывают возможности для последующей интеграции системы в научно-информационный портал, а результаты мониторинга позволят оформить их в виде традиционных отраслевых атласов и атласных информационных систем.

Ключевые слова: ГИС, геоинформационные технологии, большие города, города России, мониторинг, индекс этнической мозаичности.

A.A. Cherkasov North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia
cherkasov_stav@mail.ru

Gis "Cities of Russia": Principles of Creation and Technologies of Spatial Analysis

Introduction: agglomerated territories are actively investigated by Russian scientists. Mostly, the works are devoted to the role of agglomerations in the sustainable development of territories; administrative, managerial, and town-planning aspects are considered. At the same time, in modern conditions, Russian agglomerations have become attractive for a multi-ethnic migration flow, which leads to a change in the ethnic structure of the population not only in the core cities, but also in suburban areas. This increases interest in the study of ethnic processes in urban agglomerations. The accumulation of new knowledge about the ethnic structure of the population of urban agglomerations, the influence of agglomerated forms of settlement on the formation of the ethnic composition of the peripheral territories, is an urgent task to study the spatial features of the country's population formation, makes a significant contribution to the updating of humanitarian, sociological and socio-geographical studies.

Materials and methods of the research: the paper considers the features of the ethnic structure of the population of five urban agglomerations: monocentric – Volgograd GA, Rostov GA, Stavropol GA, Kazan GA, polycentric – GA Mineral Water (CMS). The agglomeration data differ in terms of population, number of urban and rural settlements. In the course of the study, a comparative analysis of the dynamics of the number of agglomerations prevailing in the number of ethnic groups was carried out, the distribution of the second and third ethnic groups, including the comparison for 2002 and 2010, was analyzed by cities and municipal areas.

The results of the study and their discussion: features of forming the ethnic structure of the population of the Rostov, Volgograd, Stavropol, Kazan urban agglomeration and the agglomeration of Caucasian Mineral waters are considered. The general trends and regional features of the ethnic structure of the population are revealed. The general tendencies are a decrease in the proportion of Russians and other most urbanized ethnic groups (Ukrainians, Belarusians, Jews, Germans, etc.) and an increase in the number and proportion of ethnic groups with a lower level of urbanization.

Conclusions: the study revealed general trends and regional characteristics of the formation of the ethnic structure of the population of urban agglomerations. Common to all agglomerations is the tendency to reduce the proportion of Russians and other, most urbanized ethnic groups (Ukrainians, Belarusians, Jews, Germans, etc.) and the increase in the number and proportion of ethnic groups with a lower level of urbanization.

Key words: GIS, geoinformation technologies, national projects, monitoring, sustainable development

---

* North-Caucasian federal university, department of socio-economic geography, geoinformatics and tourism, Stavropol, Pushkina str. 1, 355000, Russia; e-mail: cherkasov_stav@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Основная идея современного пространственного развития России заключается в опоре на ключевые центры концентрации населения и экономики [5]. Большие города выступают в качестве основных фундаментальных узлов расселенческого каркаса страны, максимально аккумулирующих человеческие ресурсы, т.е. демографическое развитие является главной предпосылкой экономического, стратегического и культурного развития города [3]. Естественное движение населения, миграции, в том числе этнические, обуславливают не только механический рост или стагнацию города, но и ее структурную перестройку, деформацию или формирование новых очагов роста. Управление прогрессивным демографическим развитием городов возможно только на основе актуальной, полноценной и достоверной информации о его различных аспектах. В связи с этим необходимость и целесообразность постоянного мониторингового анализа протекания этнодемографических, миграционных и др. социально-экономических процессов, как в целом в сети, так и в отдельных городах, становится очевидной задачей. Значительными возможностями для реализации подобных задач обладают геоинформационные технологии (ГИС) с элементами машинного обучения и искусственного интеллекта.

Применение геоинформационных подходов для организации мониторинговых систем, выступающих в качестве инструмента для изучения особенностей формирования сети городов, в том числе относящихся по численности к большим, рассматривающих социально-экономические процессы демонстрируют свою высокую эффективность, которая заключается в возможности оперативного сбора и обработки пространственных данных, наглядности, возможности сравнивания моделей в пространстве и во времени [6, 7, 8, 11]. Настоящее исследование посвящено принципам создания геоинформационной системы «ГИС «Города России»[1], особенностям формирования базы геоданных, инструментам пространственного анализа и апробации её мониторинговых возможностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основе организации ГИС «Города России» лежит концептуальный подход, позволяющий системно подойти к организации ГИС. Базовыми являются геоинформационные технологии, объединяющие в своем инструментарии группы методов и способов про-

1 ГИС «Города России» Свидетельство о регистрации базы данных № 2020621364, дата государственной регистрации 05 августа 2020 года.

странственного анализа [14]. Во главе идеи ГИС находится принцип полимасштабности, позволяющий, в соответствии с АТД Российской Федерации организовать геоданные и подготовить картографическую основу [7]. Для анализа одного и того же процесса применяется многовариантное ГИС-моделирование и картографирование. Как показывает опыт, реализация такого подхода на порядок повышает качество пространственного анализа исследуемых процессов [2]. На этапе организации базы геоданных и апробации системы использованы методы статистического анализа [13].

Апробация ГИС «Города России» осуществлялась на примере анализа индекса этнической мозаичности (ИЭМ) в больших городах России. Индекс этнической мозаичности, рассчитан по формуле Б.М. Эккеля: ИЭМ = 1 – Σ (Pι)2, где Pι – доля ι-ой национальности (ι = 1,2…) [10].

Для оценки индекса этнической мозаичности больших городов, была предложена следующая группировка: низкий ИЭМ с показателем менее 0,25; средний ИЭМ с показателем от 0,25 до 0,5; повышенный ИЭМ с показателем от 0,5 до 0,75; высокий ИЭМ с показателем более 0,75.

Для анализа ИЭМ подготовлены картографические модели способом количественного фона, а также с использованием метода факторного анализа, который заключался в сопоставлении данных о численности населения, индекса этнической мозаичности, и интенсивности его изменения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

ГИС «Города России» – это информационно-аналитическая система, обеспечивающая полимасштабный геоинформационный мониторинг этнодемографических, миграционных и др. социально-экономических процессов в сети больших городов России. Данная ГИС-система является комплексной платформой, в рамках которой осуществлена полимасштабная организация данных (страна, регион, город, район, квартал). ГИС «Города России» обеспечивает картографирование, моделирование и прогнозирование этнодемографических, миграционных, социально-экономических процессов в городах страны. В основе функционирования ГИС предусмотрены возможности сравнения городов в пространстве и во времени, учитывая их численность населения, сопоставляя процессы в городах с общестрановыми и региональными тенденциями развития заявленных процессов, а также с возможностью изучения процессов с точки зрения внутригородского развития.

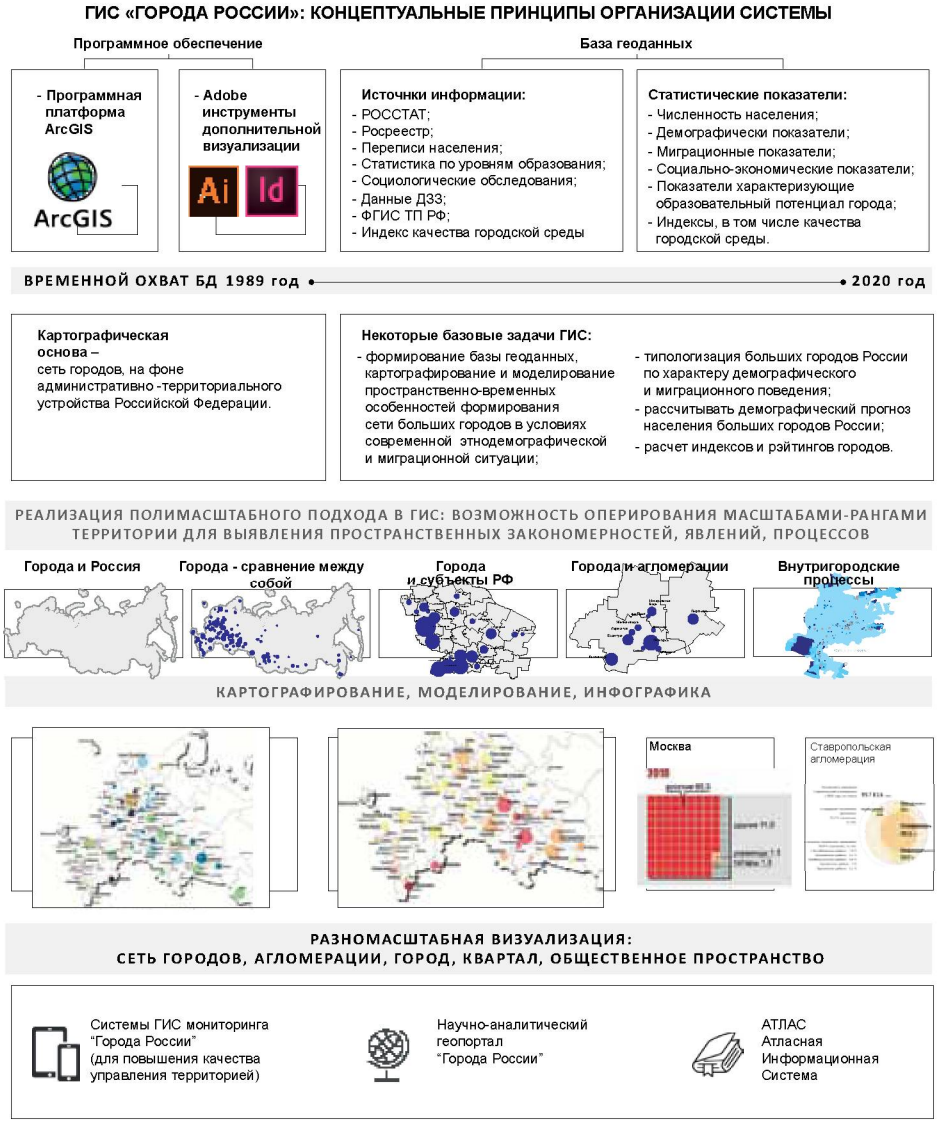


Рис. 1. **Концептуальная схема организации ГИС «Города России».**
Fig. 1. Conceptual diagram of the organization of the GIS «Cities of Russia».

При организации ГИС использован концептуальный подход, который позволил системно подойти к созданию и апробации геоинформационной системы мониторинга. Основные этапы создания геоинформационной системы оформлены в виде концептуальной схемы [15] (рис. 1).

Основными этапами построения ГИС «Города России» являются:

1) выбор логической структуры и на основе собранных статистических материалов создание пространственной базы геоданных, подготовка картографической основы;
2) формирование базы геоданных, содержащей следующие базовые показатели: численность населения, данные, характеризующие этнодемографические и миграционные процессы, этническую структуру населения, социально-экономические показатели больших городов и регионов России;
3) построение пространственно-временных ГИС-моделей и карт, характеризующих этнодемографические, миграционные и др. социально-экономические процессы;
4) апробация ГИС «Города России».

Далее перешли непосредственно к апробации ГИС.

На начальном этапе сформулированы стратегические задачи и требования, которые должна решать ГИС «Города России», в том числе:

- формировать базу геоданных и иметь возможность оперативного редактирования статистических материалов;
- обеспечивать надежное хранение пространственных данных;
- картографировать и выполнять геоинформационное моделирование пространственно-временных особенностей этнодемографичеких, миграционных и др. социально-экономических процессов в больших городах России;
- проводить ранжирование городов России, учитывая демографические и миграционные процессы, рассчитывать демографические прогнозы, а также готовить рейтинги и сводные индексы городов;
- сравнивать города в пространстве и во времени, учитывая их численность;
- сопоставлять процессы в городах с общестрановыми и региональными тенденциями развития рассматриваемых процессов;

– иметь возможность для ГИС-моделирования на внутригородском уровне;
– обладать инструментами для создания атласных информационных систем, и информации с другими информационными системами.

Для реализации сформулированных целей и задач в качестве базовой ГИС-платформы выбран ArcGIS Spatial Analyst фирмы ESRI [4, 12]. В основе разработанной ГИС лежит картографическая основа, в качестве которой выступает административная карта Российской Федерации, содержащая набор взаимозависимых векторных слоев сопоставимых иерархии административно-территориального деления (АТД) страны. Особое место при организации картографической основы уделялось проработке сети больших городов, которые были организованны как площадные (векторные), так и точечные объекты, что в последующем повышает возможности для подготовки более качественных ГИС-моделей и др. картографических материалов.

Для решения задач, связанных с картографической визуализацией используются дополнительные инструменты. В качестве основного графического редактора и верстки карт использованы программы фирмы Adobe – Illustrator и InDesign. Illustrator – это графический редактор, позволяющий работать с векторными изображениями, повышает качество подготовки тематических картографических изображений и инфографики. InDesign – это программа для компьютерной вёрстки, позволяет достаточно удобно компоновать серию картографических произведений, например в виде атласов.

Источники информации определяют возможности реализации исследования, а наличие тех или иных показателей за исследуемый период дает возможность видеть процесс во времени. Основными источниками информации выступают: Росстат, Росреестр, переписи населения, ФГИС ТП, Министерство образования РФ, данные ДДЗ, социологические исследования.

База геоданных сформирована по тематическим блокам [9]: население; социально-экономический потенциал; образование; рейтинги; ДДЗ. Каждый из блоков содержит самостоятельные материалы, при этом есть возможность их интегрировать и рассчитывать различные индексы и прогнозы:

Блок «Население» содержит данные о численности населения больших городов (с 1989 по 2020 годы); удельный вес больших городов в структуре населения регионов (с 1989 по 2020 годы); динамику численности населения в %, по периодам 1989–2020 гг., 1989–2000 гг., 2000–2010 гг., 2010–2020 гг.; количество родившихся/умерших 2000–

2010 гг.; естественный прирост населения 2000–2010 гг.; количество прибывших/выбывших 2000–2010 гг.; миграционный прирост населения 2000–2010 гг.; численность этносов 2002 и 2010 годов; удельный вес этносов за 2002 и 2010 годы; динамику удельного веса русских в структуре населения с 2002 по 2010 год.

Блок «Социально-экономический потенциал» содержит данные о численности трудоспособного населения; численности работников предприятий; количестве безработных; заработной плате, тыс. руб.; общей площади жилых помещений, приходящейся в среднем на одного городского жителя, м^2; инвестиции в основной капитал в млн руб.; наличие основных фондов организаций, млн руб.; объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство»; ввод в действие жилых домов, тыс. м^2 общей площади; оборот розничной торговли млн. руб. (все показатели за период с 2011 по 2018 год).

Блок «Образование» содержит данные о численности студентов всех форм обучения; о численности иностранных студентов; доходы вуза из всех источников (тыс. руб.); общий объем средств, поступивших (за отчетный год) от выполнения НИОКР (тыс. руб.); общая численность ППС; общая численность научных работников (все данные за 2019 г.).

Блок «Рейтинги» содержит индексы качества городской среды (2018, 2019 годы); индекс этнической мозаичности (2002 и 2010 годы); динамика индекса этнической мозаичности с 2002 по 2010 годы.

Блок «данные ДДЗ» содержит набор космоснимков высокого разрешения, для последующей оценки интенсивности разрастания застроенных территорий больших городов.

АПРОБАЦИЯ ГИС «ГОРОДА РОССИИ»

Мониторинговые возможности ГИС «Города России» апробированы на основе данных о численности населения городов и показателей этнической структуры населения. В частности рассчитан индекс этнической мозаичности для рассматриваемых городов с численностью населения 100 тыс. чел. и свыше[3] (см. раздел «материалы и методы исследований»). На основе расчета ИЭМ разработана серия карт способом количественного фона, и методом факторного анализа

3 Анализ индекса этнической мозаичности больших городов проведен без учета городов Республики Крым, т.к. учет этнической структуры населения на данной территории не совпадают по временным промежуткам, а также по причине отличных методик проведения Всеукраинской переписи населения 2001 и Всероссийской переписи населения 2002 года, что не позволяет на столь коротком временном промежутки сравнивать данные города с остальными городами Российской Федерации.

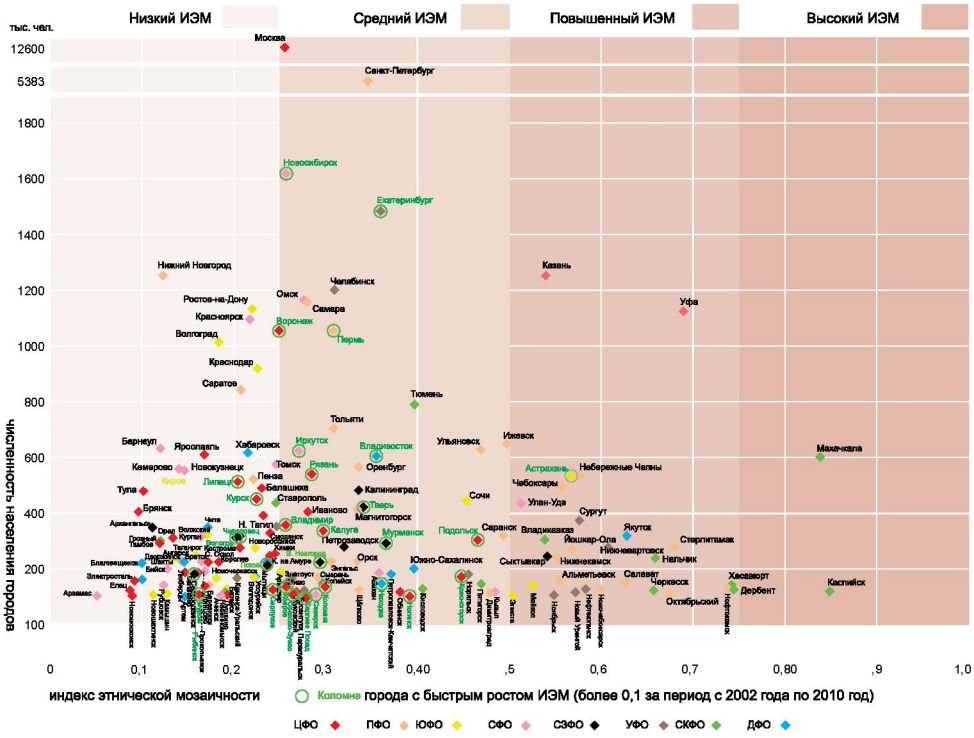


Рис. 2. **Диаграмма, отображающая по оси Y численность населения больших городов (2019 год), по оси X - индекс этнической мозаичности, зеленым цветом отображены города с высокой динамикой увеличения ИЭМ (с 2002 по 2010 год).**
Fig. 2. Scatter plot showing the population size of large cities on the Y-axis (2019), on the X-axis the ethnic mosaic index, cities with a high dynamic increase in IEM (from 2002 to 2010) are shown in green.

построена точечная диаграмма. Совмещение данных методов позволили сделать следующие аналитические заключения.

Индекс этнической мозаичности в больших городах России в постсоветский период в целом растет, что связано с общим сокращением удельного веса русских и ростом данного показателя других этносов в структуре населения значительной части городов (преимущественно за счет титульных этносов Северного Кавказа и Закавказья, Средней Азии). Так в период с 2002 по 2010 год средний показатель индекса для больших городов вырос на 0,03 и составил 0,23.

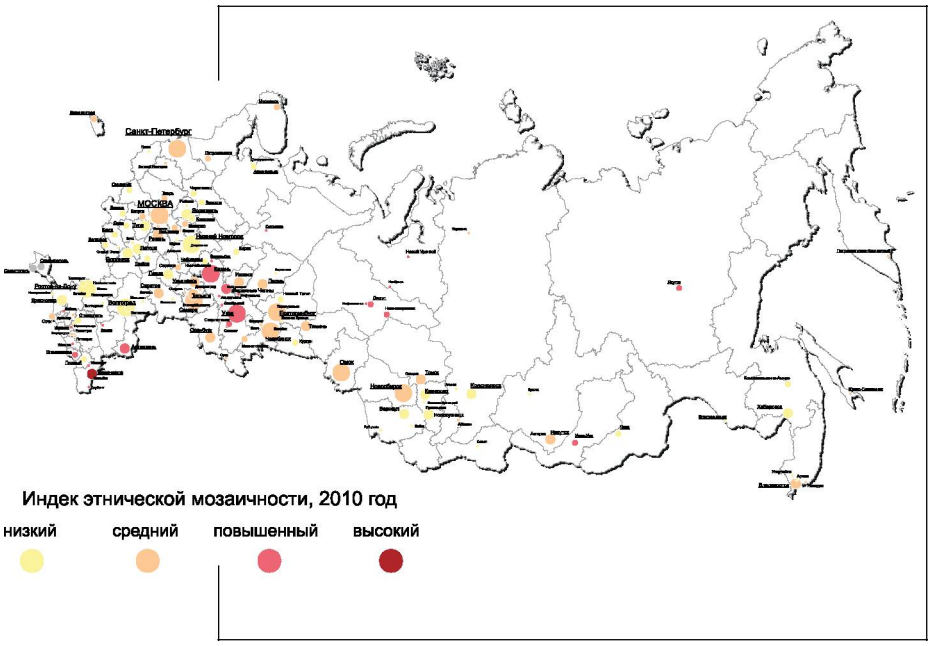


Рис. 3. **ИЭМ больших городов России, 2010 год.**
Fig. 3. IEM of large cities of Russia, 2010.

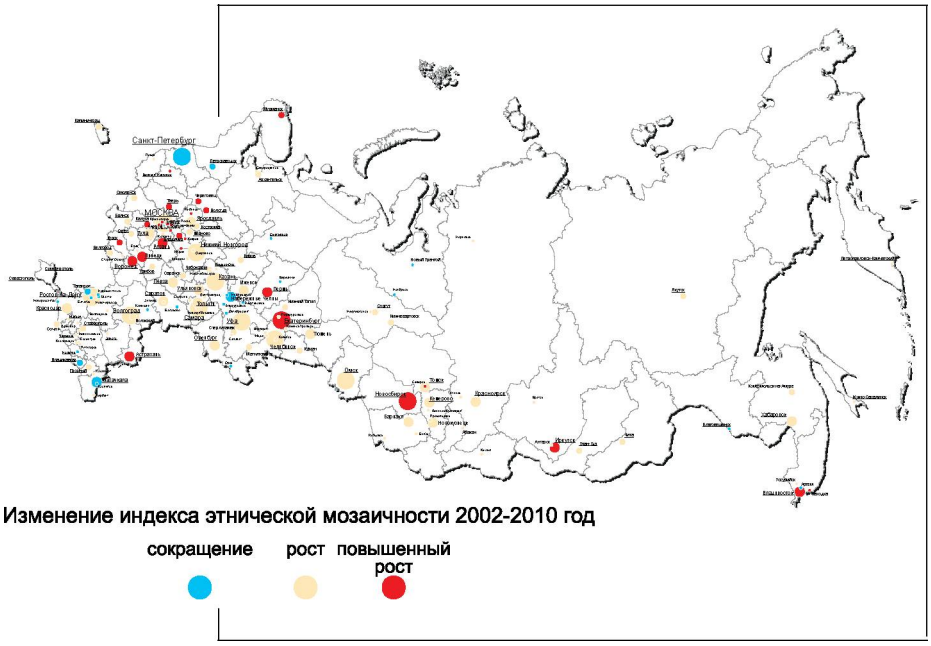


Рис. 4. **Изменение ИЭМ больших городов России, 2002-2010 год.**
Fig. 4. Change in IEM of large cities in Russia, 2002-2010.

Высокий ИЭМ отмечается в двух городах Дагестана – Каспийске и Махачкале. Повышенный ИЭМ зафиксирован в городах расположенных в национальных образованиях страны, в том числе Юга России (города КЧР, КБР, РСО–Алании, Адыгеи, Калмыкии), Поволжья (города Татарстана, Башкирии, Чувашии), Сибири (Якутск, Улан-Удэ). Отдельно стоит отметить большие города Западной Сибири (ЯНАО и ХМАО), которые также имеют повышенный ИЭМ. Астрахань также входит в данную группу городов. В остальных больших городах ИЭМ отмечается как средний и низкий (рис. 2, 3).

Анализ интенсивности роста ИЭМ, показывает, что наиболее динамичные процессы (в период с 2002 по 2010 годы индекс изменился более чем на 0,1) наблюдаются в 31 городе, относящихся к группе со средним и низким ИЭМ. Наибольшее количество городов расположено в Центральной России (15), в Северо-Западной части страны (5), Урале (1), Сибири (3) и Дальнем Востоке (2), Юге России (1). В целом в этих городах в структуре населения отмечается относительно высокий удельный вес русских, но в настоящее время именно здесь наблюдается более активное сокращение удельного веса русских. Такие города требуют более детального анализа, т.к. высокая скорость смены этнической структуры населения способствует смене культурных, социальных, религиозных ландшафтов, что требует особых адаптационных решений.

Города, с численностью населения более 1 млн чел. распределились следующим образом: низкий ИЭМ – Нижний Новгород, Волгоград, Красноярск, Ростов-на-Дону; средний – Воронеж, Москва, Новосибирск, Омск, Самара, Пермь, Челябинск, Санкт-Петербург, Екатеринбург; повешенный – Казань, Уфа. Городов миллионеров с высоким ИЭМ нет. При этом Воронеж, Новосибирск, Пермь и Екатеринбург относятся к городам с динамичным ростом ИЭМ (более чем на 0,1).

Анализ распределения численности населения больших городов в соответствии с ИЭМ, имеет следующую картину: в городах с низким ИЭМ проживает 26,8%, средним ИЭМ – 68,8%, повышенным ИЭМ – 11,5%, высоким ИЭМ – 0,9%.

ВЫВОДЫ

ГИС «Города России» и её последующее развитие позволит комплексно подойти к исследованию этнодемографических, миграционных и социально-экономических процессов в больших городах страны, что, несомненно, позволит проводить экспертно-аналитическую работу на более высоком уровне. Апробация ГИС показала высокие функциональные возможности и потенциал для дальнейшего развития. В частности анализ индекса этнической мозаичности в

больших городах с использованием многовариантного моделирования позволил выявить не только города с наиболее и наименее сложной этнической структурой населения, но и увидеть географические особенности распределения городов по уровню ИЭМ.

Внедрение геоинформационных мониторинговых систем в практику анализа сети больших городов открывает большие возможности не только для мониторинговых систем, но и позволит в долгосрочной перспективе оценивать возможные последствия от реализации национальных проектов (например, по направлению «Демография»).

Создание и развитие ГИС «Города России» открывают возможности для последующей интеграции системы в научно-информационный портал, а результаты мониторинга позволят оформить их в виде традиционных отраслевых атласов и атласных информационных систем [1]. ГИС «Города России» является важным инструментом, направленным на создание условий устойчивого пространственного развития Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белозеров В.С., Черкасов А.А., Чихичин В.В. Атлас расселения народов России: подходы и особенности создания // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. №6 (39). С. 31-36.
2. Краак М.-Я., Ормелинг Ф. Картография: визуализация геопространственных данных. М.: Научный мир, 2005. 325 с.
3. Лаппо Г.М. Разнообразие городов как фактор успешного пространственного развития России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. № 4. С. 3-23.
4. Полевой К. Картография. Esri Press, Редлендс, Калифорния, 2018.
5. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р) // http://static.government.ru/media/files/UVAlqUtT08o60RktoOXl22JjAe7irNxc.pdf (режим доступа 10.09.2020).
6. Тикунов В.С., Белозеров В.С., Панин А.Н., Черкасов А.А. Полимасштабный геоинформационный мониторинг миграционных процессов: общие подходы // Наука. Инновации. Технологии. 2014. № 1. С. 135-144.
7. Тикунов В.С., Белозеров В.С., Щитова Н.А., Панин А.Н, Черкасов А.А. Геоинформационный мониторинг: инструмент пространственно-временного анализа миграции населения // Вестник Московского университета Серия 5. География. 2015. №2. С. 33–39.

8. Черкасов А.А. Мониторинг этнических аспектов урбанизации в России на основе ГИС-технологий автореферат дис. ... кандидата географических наук / Северо-Кавказский федеральный университет. Ставрополь, 2013
9. Шаши Ш., Санжей Ч. Основы пространственных баз данных. М.: Кудиц–образ, 2004. 330 с.
10. Эккель Б. М. Определение индекса мозаичности национального состава республик, краев и областей СССР //Советская этнография. 1976. № 2. С. 33-42.
11. Belozerov V.S., Tikunov V.S., Cherkasov A.A., Ibrahimov A., Caliskan V. Geoinformation technologies in the study of ethnic aspects of urbanization in Russia Geography, Environment, Sustainability. 2013. Т. 6. № 4. С. 19-30.
12. Field K. Cartography. Esri Press, Redlands, Kalifornia, 2018. 576 p.
13. Gusein-Zade S.M., Tikunov V.S. Visualisation in non-Euclidean metrics. Chinese University of Hong Kong Hong Kong, 2015. 213 p.
14. Harmon J., Anderson S. The Design and Implementation of Geographic Information Systems. Wiley, 2003. 272 p.
15. Tomlinson, R. Thinking about GIS: geographic information system planning for managers. Redlands; California: ESRI Press, 2003. 325 p.

References

1. Belozerov V.S., Cherkasov A.A., Chikhichin V.V. Atlas rasseleniya narodov Rossii: podhody i osobennosti sozdaniya (Atlas of the settlement of the peoples of Russia: approaches and features of creation) // Bulletin of the North Caucasus Federal University. 2013. № 6 (39). С. 31-36. (in Russian).
2. Kraak M.-J. Ormeling F. Ormeling F. Kartografiya: vizualizatsiya geoprostranstvennykh dannykh (Cartography: visualization of geospatial data) // M .: Scientific World. 2005. 325 c. (in Russian).
3. Lappo G.M. Raznoobrazie gorodov kak faktor uspeshnogo prostranstvennogo razvitiya Rossii (Diversity of cities as a factor in the successful spatial development of Russia) // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographic series. 2019. № 4. С. 3-23. (in Russian).
4. Polevoi K. Kartografiya (Cartography). Esri Press, Redlands, California, 2018. (in Russian).
5. Strategiya prostranstvennogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda (Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 13 fevralya 2019 g. № 207-r) The spatial development strategy of the Russian Federation for the period until 2025 (Approved by order of the Government of the Russian Federation of February 13, 2019 No. 207-r) http://static.government.ru/media/files/UVAlqUtT08o60RktoOXl22JjAe7irNxc.pdf (access mode 10.10.2020) (in Russian).
6. Tikunov V.S., Belozerov V.S., Panin A.N., Cherkasov A.A. Polimasshtabnyj geoinformacionnyj monitoring migracionnyh process-

ov: obshchie podhody (Poly-scale geoinformation monitoring of migration processes: general approaches) // The science. Innovation. Technology. 2014. № 1. С. 135-144. (in Russian).
7. Tikunov V.S., Belozerov V.S., Shchitova N.A., Panin A.N., Cherkasov A.A. Geoinformacionnyj monitoring: instrument prostranstvenno-vremennogo analiza migracii naseleniya (Geographic information monitoring: a tool for spatial and temporal analysis of population migration) // Moscow University Bulletin Series 5. Geography. 2015. №2. С. 33–39. (in Russian).
8. Cherkasov A.A. Monitoring of ethnic aspects of urbanization in Russia on the basis of GIS technologies abstract dis. ... candidate of geographical sciences (Monitoring etnicheskih aspektov urbanizacii v Rossii na osnove GIS-tekhnologij avtoreferat dis. ... kandidata geograficheskih nauk) // North Caucasus Federal University. Stavropol, 2013. (in Russian).
9. Shashi Sh., Sanzhey Ch. Osnovy prostranstvennyh baz dannyh (Basics of spatial databases). M .: Kudits-obraz, 2004. 330 p.
10. Ekkel B.M. Opredelenie indeksa mozaichnosti nacional'nogo sostava respublik, kraev i oblastej SSSR (Determination of the index of mosaicity of the national composition of the republics, territories and regions of the USSR) // Soviet Ethnography. 1976. No. 2. S. 33-42.
11. Belozerov V.S., Tikunov V.S., Cherkasov A.A., Ibrahimov A., Caliskan V. Geoinformation technologies in the study of ethnic aspects of urbanization in Russia Geography, Environment, Sustainability. 2013. T. 6. № 4. C. 19-30.
12. Field K. Cartography. Esri Press, Redlands, Kalifornia, 2018. 576 p.
13. Gusein-Zade S.M., Tikunov V.S. Visualisation in non-Euclidean metrics. Chinese University of Hong Kong Hong Kong, 2015. 213 p.
14. Harmon J., Anderson S. The Design and Implementation of Geographic Information Systems. Wiley, 2003. 272 p.
15. Tomlinson, R. Thinking about GIS: geographic information system planning for managers. Redlands; California: ESRI Press, 2003. 325 p.

Поступило в редакцию 27.08.2020,
принята к публикации 01.09.2020

Сведения об авторах

Черкасов Александр Александрович, кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета. Scopus ID: 57192379694, Researcher ID: 57192379694
Телефон: +7(906) 460-99-98
E-mail: cherkasov_stav@mail.ru

About the authors

Cherkasov Alexander Alexandrovich, Candidate of geographical sciences, associate professor of the department of socio-economic geography, geoinformatics and tourism of the North-Caucasus federal university. Scopus ID: 57192859694, Researcher ID: 57192379694
Phone: +7(906) 460-99-98
E-mail: cherkasov_stav@mail.ru

Исследование выполнено в рамках гранта Президента Российской Федерации МК-858.2020.5 «Геоинформационный мониторинг формирования сети больших городов в условиях современной этнодемографической и миграционной ситуации в России».

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

Издательство Северо-Кавказского федерального университета. г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.

Корректор – М.И. Толмачев.
Компьютерная верска – О.Г. Полевич.

Подписано в печать 28.09.2020 г. Выход в свет 30.09.2020 г. Формат 70 × 108 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 8,26. Тираж 1000 экз. Цена 534 руб.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет». 355029, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 2.