

Методика геодинамической оценки пораженности территории горнопромышленного комплекса экзогенными геологическими процессам и гидрогеологическими явлениями

©2024 М. А. Митрофанова¹✉, В. А. Бударина¹, И. М. Игнатенко², И. И. Косинова¹

¹*Воронежский государственный университет,*

Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, Российская Федерация

²*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, 308015, Белгород, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: деятельность экзогенных геологических процессов (ЭГП) и гидрогеологических явлений (ГЯ) формирует современный облик рельефа местности, а также определяет геодинамическую экологическую функцию литосферы, которая была количественно выражена через оценку степени пораженности обследуемой территории ЭГП и ГЯ. Геодинамическая оценка имеет важную роль для определения подходов к рациональному хозяйственному освоению территорий.

Методика: объектом настоящих исследований выбраны участки обустройства Уренгойского НГКМ, расположенного в границах Пуровского и Надымского районов ЯНАО. В качестве исходных данных проанализированы результаты инженерно-экологических изысканий, выполненных на участках обустройства Уренгойского НГКМ в период 2015–2021 гг. Методика оценки пораженности территории ЭГП и ГЯ базировалась, во-первых, на вычислении процентного соотношения площади территорий, подвергнутых влиянию ЭГП и ГЯ, к площади гексагональных участков, на которые область исследований была автоматически разделена с помощью функции замощения в программе ArcGIS; во-вторых, на дальнейшем ранжировании всех выделенных гексагонов по четырехrangовой классификации пораженности.

Результаты и обсуждение: анализ имеющихся материалов инженерно-экологических изысканий позволил составить реестр основных видов ЭГП и ГЯ, зафиксированных на участках обустройства УНГКМ, в числе которых отмечены склоновые процессы (осыпные процессы на антропогенно-непреобразованных склонах в долинах рек и на склонах техногенных песчаных насыпей, оползни – на склонах речных долин, солифлюкция, протекающая в слое сезонного оттаивания грунтов на склонах крутизной более 2–3 градусов); флювиальные процессы (эрозионная деятельность водотоков и водоемов, переработка берегов, термоабразия); криогенные процессы (термокарст, повсеместно отмечаемые следы криогенного пучения); эоловые процессы, активизируемые на лишенных растительного покрова выровненных поверхностях и не относящиеся к опасным согласно требованиям текущего законодательства РФ; гидрогеологические явления, выраженные прежде всего в техногенном подтоплении, заболачивании с формированием различных типов болот, затоплении территории в периоды половодья, когда наиболее интенсивна переработка берегов.

Значительная площадь обследованной территории УНГКМ (62 % гексагонов) характеризуется процентом пораженности ЭГП и ГЯ в интервале 5–25, что соотносится с категорией экологического риска.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Выводы: сравнительный анализ области исследований в границах месторождения показал, что северный участок характеризуется относительно однородной структурой по степени пораженности ЭГП и ГЯ с тотальным преобладанием территорий с процентом пораженности 5–25 %, при этом в пределах южного участка прослеживается некая аномальная зона с наибольшими процентами пораженности – более 50 %. Подобная дифференциация района исследований может быть обусловлена разностью эколого-геологических условий, а также степени антропогенной трансформации, что в свою очередь определяет характер и интенсивность проявления тех или иных ЭГП и ГЯ.

Предложенная методика эколого-геодинамической оценки территории через определение степени пораженности ЭГП и ГЯ может быть использована с целью рационального ведения хозяйственной деятельности по 2 основным направлениям: для принятия проектных решений по инженерной защите строящихся зданий и сооружений (преимущественно для участков с процентом пораженности более 25); для поддержания устойчивости природных арктических экосистем путем нивелирования антропогенной активизации процессов (для участков с пораженностью до 25 %).

Ключевые слова: геодинамическая экологическая функция литосферы, экзогенные геологические процессы, гидрогеологические явления, пораженность территории, оценка.

Источник финансирования: проект № 20180180 «Управление процессом воспроизводства экосистем в агроландшафтах» программы «Приоритет – 2030»

Для цитирования: Митрофанова М. А., Бударина В. А., Игнатенко И. М., Косинова И. И. Методика геодинамической оценки пораженности территории горнопромышленного комплекса экзогенными геологическими процессам и гидрогеологическими явлениями // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2024. № 3. С. 96–108. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/3/96-108>

Введение

Деятельность экзогенных геологических процессов (ЭГП) и гидрогеологических явлений (ГЯ) формирует современный облик рельефа местности, а также определяет геодинамическую функцию литосферы, отражающую способность литосферы влиять на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления [1, 2]. Геодинамическая оценка имеет важную роль для определения подходов к рациональному хозяйственному освоению территорий.

Методика

Объектом настоящих исследований являются участки обустройства Уренгойского НГКМ, расположенного в пределах Западно-Сибирской плиты.

В области исследований планируется размещение линейных объектов инфраструктуры месторождения (межпромысловые и магистральные газопроводы, автомобильные дороги, линии электропередач и др.), что определяет ее линейный облик.

Большая часть территории Уренгойского НГКМ се-чет тектоническую структуру I-го порядка - Уренгойский мегавал, в пределах которого выделяется ряд структур II-го порядка: на юге – Южно-Уренгойский малый вал, на севере – Енъяхинское и Песцовое куполовидные поднятия (рис. 1).

В геоморфологическом плане обследуемая местность располагается на Ненецкой возвышенности. Доминирующим процессом формирования рельефа здесь является эрозионно-аккумулятивный озерно-аллювиального генезиса, на участках гидрографической сети – аккумулятивный аллювиального генезиса, а в северной части УНГКМ – абразионно-аккумулятивный аллювиально-морского генезиса.

Согласно данным Геоморфологической схемы в

масштабе картографирования 1:2 500 000 [3] на рассматриваемых участках выделяются следующие формы рельефа: эрозионные уступы в поймах крупных рек Евояха и Табьяха, абразионные уступы (клифы) на реке Нгарка-Табьяха, эрозионно-криогенно-тектонический параллельно-грядовый рельеф в северной части территории, термокарстовые западины и бессточные дефляционные котловины.

В соответствии со схемой регионального (индивидуального) районирования Западно-Сибирской плиты по распространению и среднегодовым температурам многолетнемерзлых и талых пород [4] территория месторождения охватывает сразу две зоны Континентальной провинции с границей, установленной по появлению крупных талых массивов, вне узких прирусловых частей пойм рек (рис. 2).

В ходе настоящего исследования решались следующие задачи:

1. анализ материалов изысканий, выполненных на различных участках обустройства УНГКМ в период 2015–2021 гг., в части фиксации и описания ЭГП и ГЯ;
2. формирование реестра ЭГП и ГЯ, выявленных на данных участках;
3. построение единой картосхемы зафиксированных ЭГП и ГЯ на обследованных территориях УНГКМ;
4. разработка методики количественной и качественной оценки пораженности рассматриваемой территории ЭГП и ГЯ.

В процессе работы осуществлялись исследования ЭГП и ГЯ по маршрутам и на площадках комплексных описаний ландшафтов с применением методик Спиридонова (1975), Симонова и др. (1993), Жучкова и Раковской (2004) [5–7]. Общая площадь обследованной территории составила 241.83 км² при средней ширине коридора изысканий 1 км.

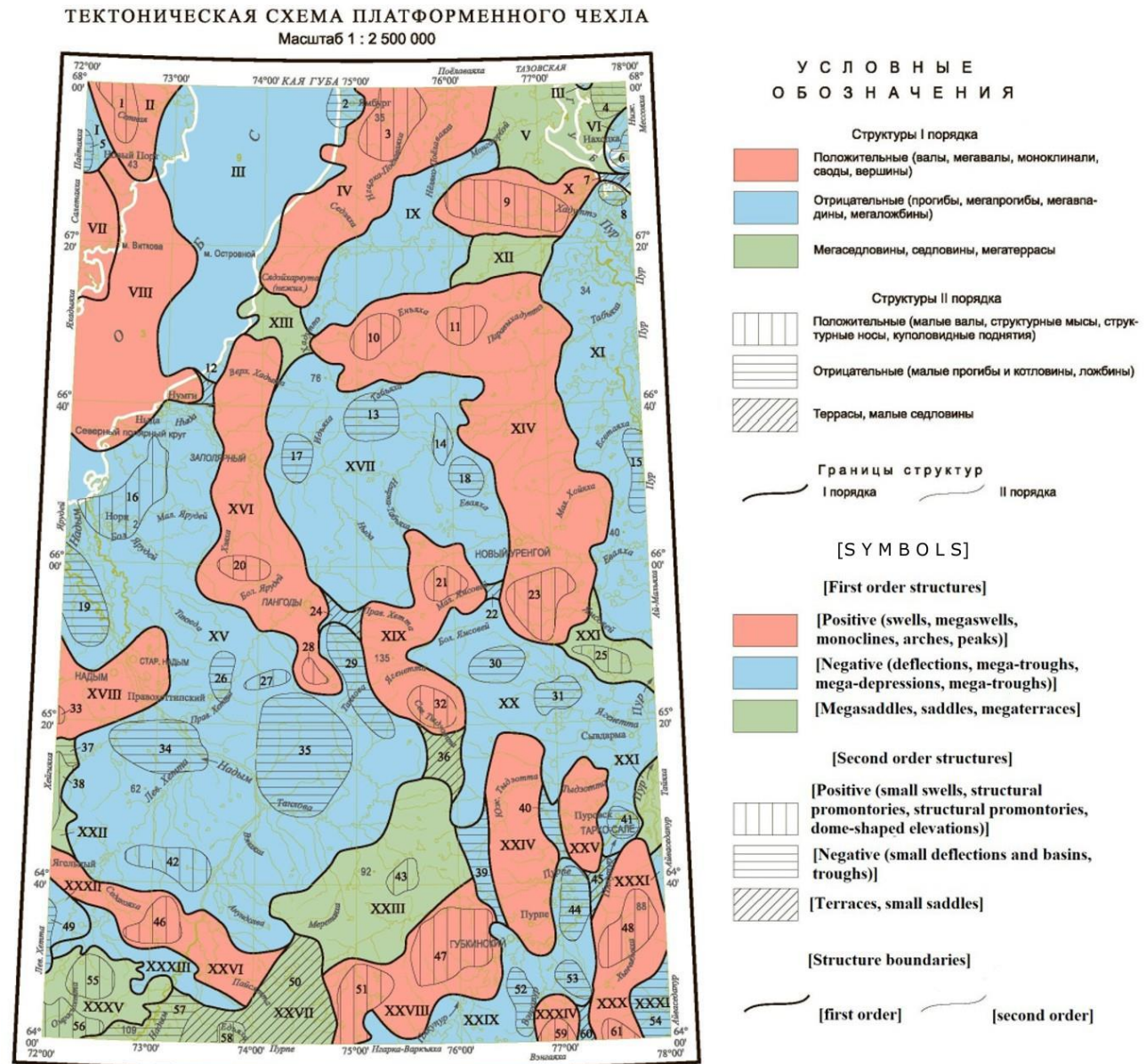


Рис. 1. Фрагмент тектонической схемы Западно-Сибирской плиты. Лист Q-43 (Новый Уренгой), ВСЕГЕИ.
[Fig. 1. Fragment of the tectonic diagram of the West Siberian plate. Sheet Q-43 (Novy Urengoy), VSEGEI.]

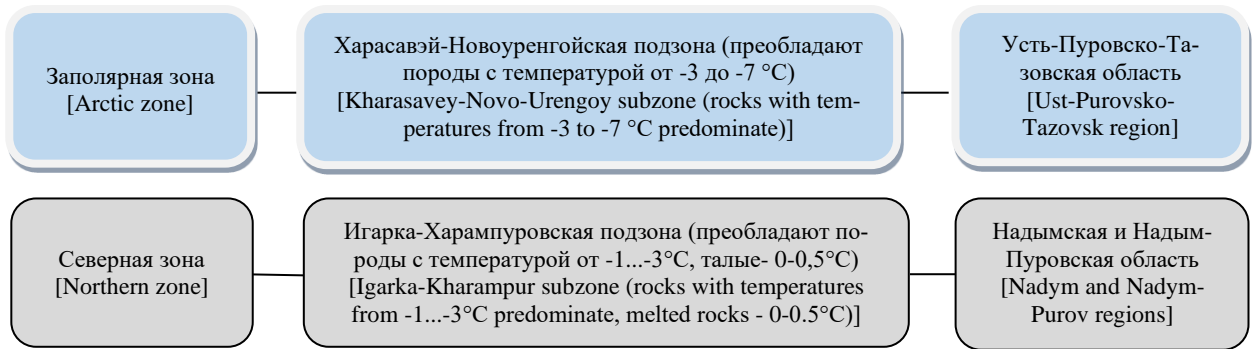


Рис. 2. Региональное районирование территории УНГКМ по распространению и среднегодовым температурам многолетне-мерзлых и талых пород.
[Fig. 2. Regional zoning of the UNGCF territory according to the distribution and average annual temperatures of permafrost and thawed rocks.]

В целях оценки общей пораженности рассматриваемых территорий УНГКМ в специализированных картографических программах ArcGIS (платформа для построения и использования геоинформационных систем (arcgis.com) и QGIS была составлена схема участков УНГКМ с зафиксированными ЭГП и ГЯ в границах единого контура обследования. Область исследований была разграничена на гексагональные участки с помощью функции замещения (Generate Tesselation). В параметрах данной функции был задан размер гексагона, равный 1 км², однако с учетом сложной конфигурации границы области

исследований площадь выделенных гексагональных участков варьировала от 0.25 до 1.5 км², при этом участки площадью менее 0.25 км² автоматически объединялись с близлежащими гексагонами.

Ранжирование территории по степени пораженности природно-антропогенными экзогенными геологическими процессами и гидрологическими явлениями произведено по четырем категориям, соответствующим различным состояниям геодинамических условий (табл. 1). Предлагаемая классификация фигурирует в разработках ВСЕГИНГЕО и Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова [8].

Табл. 1. Классификация территорий по проценту пораженности ЭГП и ГЯ
[Table 1. Classification of territories according to the percentage of EGP and GY infestation]

Категории пораженности территории, соответствующие состоянию эколого-геологических условий [Categories of affected areas corresponding to the state of ecological and geological conditions]	Удовлетворительное [Satisfactory]	Условно удовлетворительное [Conditionally satisfactory]	Неудовлетворительное [Unsatisfactory]	Катастрофическое [Catastrophic]
Степень пораженности территории, % [Degree of affected area, %]	Менее 5 [Less than 5]	5-25	25-50	Более 50 [More than 50]





Обсуждение результатов

Анализ имеющегося массива данных позволил сформировать реестр основных видов ЭГП и ГЯ (табл. 2), в котором все зафиксированные процессы группировались по генетическому принципу исходя из основного движущего энергетического фактора [9].




Табл. 2. Реестр природно-антропогенных ЭГП и ГЯ, выявленных на участках обустройства УНГКМ
[Table 2. Register of natural-anthropogenic EGP and HG identified at the UNGCF development sites]

Склоновые процессы, обусловленные перемещением вещества вниз по склону за счет действия силы тяжести [Slope processes caused by the movement of matter down the slope due to gravity]	
	Развитие осыпных процессов на антропогенно неизмененных склонах в долине реки Хараседзяха [Development of talus processes on anthropogenically unaltered slopes in the valley of the Kharasedeyakha River]
	Оползневое тело на склонах долины реки Яраяха [Landslide body on the slopes of the Yarayakha River valley]


Продолжение Табл. 2
[Continued Table 2]

	<p>Проявление солифлюкции в слое сезонного оттаивания грунтов на участке обустройства Валанжинских залежей на юге УНГКМ [Manifestation of solifluction in the layer of seasonal thawing of soils at the Valanginian deposits development site in the south of the UNOGCF]</p>
<p>Флювиальные процессы, осуществляемые текучими водами [Fluvial processes carried out by flowing waters]</p>	
	<p>Овражные формы, приуроченные к долинам рек и малым водотокам [Gully forms confined to river valleys and small watercourses]</p>
	<p>Пример русловой боковой эрозии [Example of channel lateral erosion]</p>
	<p>Меандрирование ручья без названия на юге УНГКМ [Meandering of an unnamed stream in the south of the UNGCF]</p>

Продолжение Табл. 2
[Continued Table 2]

<p>Мерзлотные (криогенные процессы), связанные с промерзанием и протаиванием грунтов в области распространения многолетнемерзлых пород [Permafrost (cryogenic processes) associated with freezing and thawing of soils in the area of permafrost distribution]</p>	
	<p><i>Термокарст</i> [Thermokarst]</p>
	<p><i>Криогенное пучение</i> [Cryogenic heaving]</p>
	<p><i>Хасырей</i>, образованный при высыхании и постепенном заторфовывании дна спущенного термокарстового озера [Khasyrei, formed during drying and gradual peat formation of the bottom of a drained thermokarst lake]</p>
	<p><i>Полигонально-валиковый микрорельф</i> [Polygonal roller microrelief]</p>

Продолжение Табл. 2
[Continued Table 2]

<p>Эоловые процессы*, связанные с деятельностью ветра. *Не относятся к опасным согласно действующим нормативным документам [Aeolian processes* associated with wind activity. *Not classified as hazardous according to current regulations]</p>	
	<p><i>Песчаные раздувы</i> [Sand blows]</p>
	<p>Образование <i>аккумулятивных эоловых форм</i> на антропогенно-преобразованной площадке куста газовых скважин [Formation of accumulative aeolian forms on the anthropogenically transformed site of a gas well cluster]</p>
<p>Гидрогеологические явления [Hydrogeological phenomena]</p>	
	<p><i>Техногенное подтопление</i> вдоль насыпных линейных объектов инфраструктуры месторождения [Man-made flooding along embankment linear infrastructure facilities of the field]</p>
	<p><i>Заболачивание</i>, пример сфагнового болота [Waterlogging, example of sphagnum bog]</p>

Продолжение Табл. 2
[Continued Table 2]Оползневые склоны на берегах рек
[Landslide slopes on river banks]

Активная хозяйственная деятельность, связанная с освоением и обустройством месторождения, нередко приводит к формированию различных антропогенных форм рельефа, например, техногенных борозд по следам проезда тяжелой техники, по которым развива-

ются локальные зоны подтопления (рис. 3). Такой вид воздействия провоцирует нарушение почвенно-растительного покрова, являющегося основным компонентом воспроизводства природных экосистем в арктических ландшафтах [10].



Рис. 3. Примеры участков развития зон подтопления по техногенным бороздам.
[Fig. 3. Examples of areas where flooding zones develop along technogenic furrows.]

Все участки проявления вышеуказанных ЭГП и ГЯ нанесены на единую картосхему, объединяющую все обследованные участки УНГКМ. После разделения общей зоны исследований на близкие по площадям участки, было выделено 330 гексагонов, классификация которых по выбранным категориям позволила отметить следующее:

- 15 % территории характеризуется степенью пораженности ЭГП и ГЯ до 5 %, что соотносится с категорией экологической нормы;
- 62 % обследованной местности характеризуется степенью пораженности ЭГП и ГЯ от 5 до 25 %, что соответствует категории экологического риска;
- 13 % территории характеризуется степенью пораженности ЭГП и ГЯ от 25 до 50 %, что соотносится с категорией экологического кризиса;

– 10 % обследованной местности характеризуется степенью пораженности ЭГП и ГЯ более 50 % – зона экологического бедствия.

Наибольшее площадное распространение на рассмотренных участках исследований получили криогенные процессы (криогенное пучение, термокарст), что обусловлено приуроченностью месторождения к Надым-Пуровской геофизиологической области, а также склоновый процесс – солифлюкция, развивающаяся в сезонно-талом слое на водоупоре в виде многолетнемерзлых пород при крутизне склонов 2–3 градуса и более. На юге обследуемой территории значительные площади подвержены термокарсту и заболачиваю. Вдоль различных линейных объектов инфраструктуры месторождения (автодороги, обвалованные трубопроводы и др.) активно протекает процесс

техногенного подтопления, обусловленный подъемом уровня грунтовых вод в условиях усиления и нарушения поверхностного стока.

Для визуализации дифференциации территории

Уренгойского месторождения по площадной пораженности ЭГП и ГЯ подготовлены соответствующие графические изображения (рис. 4–6).

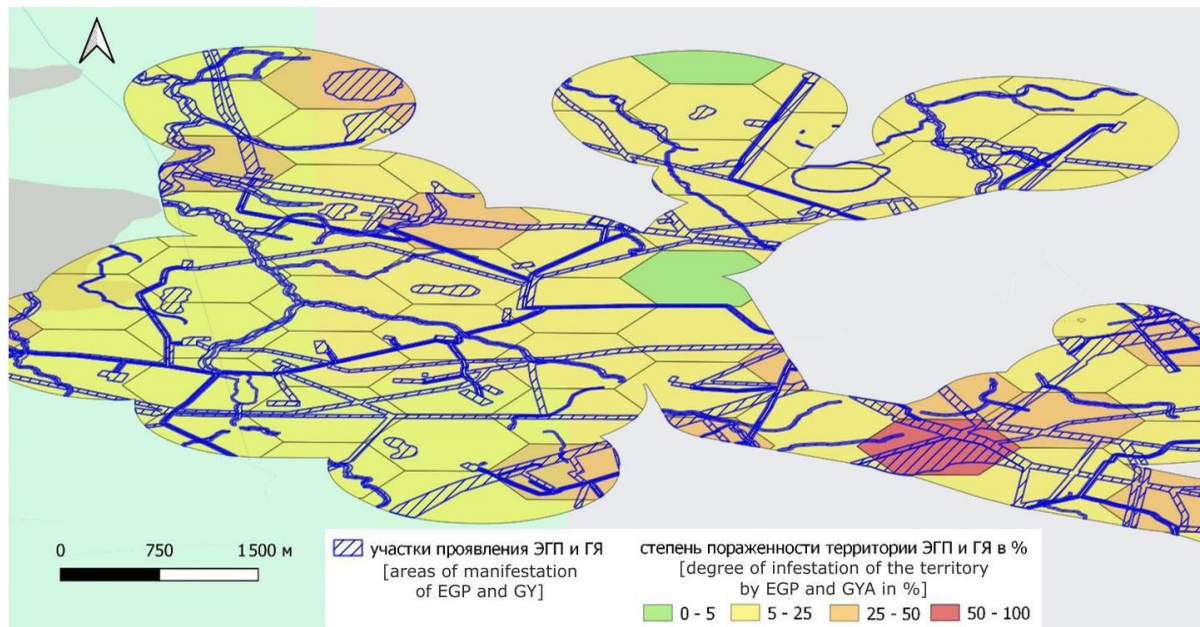


Рис. 4. Схема пораженности ЭГП и ГЯ северного участка УНГКМ.

[Fig. 4. Scheme of EGP and GY infestation of the northern section of the UNGCF.]

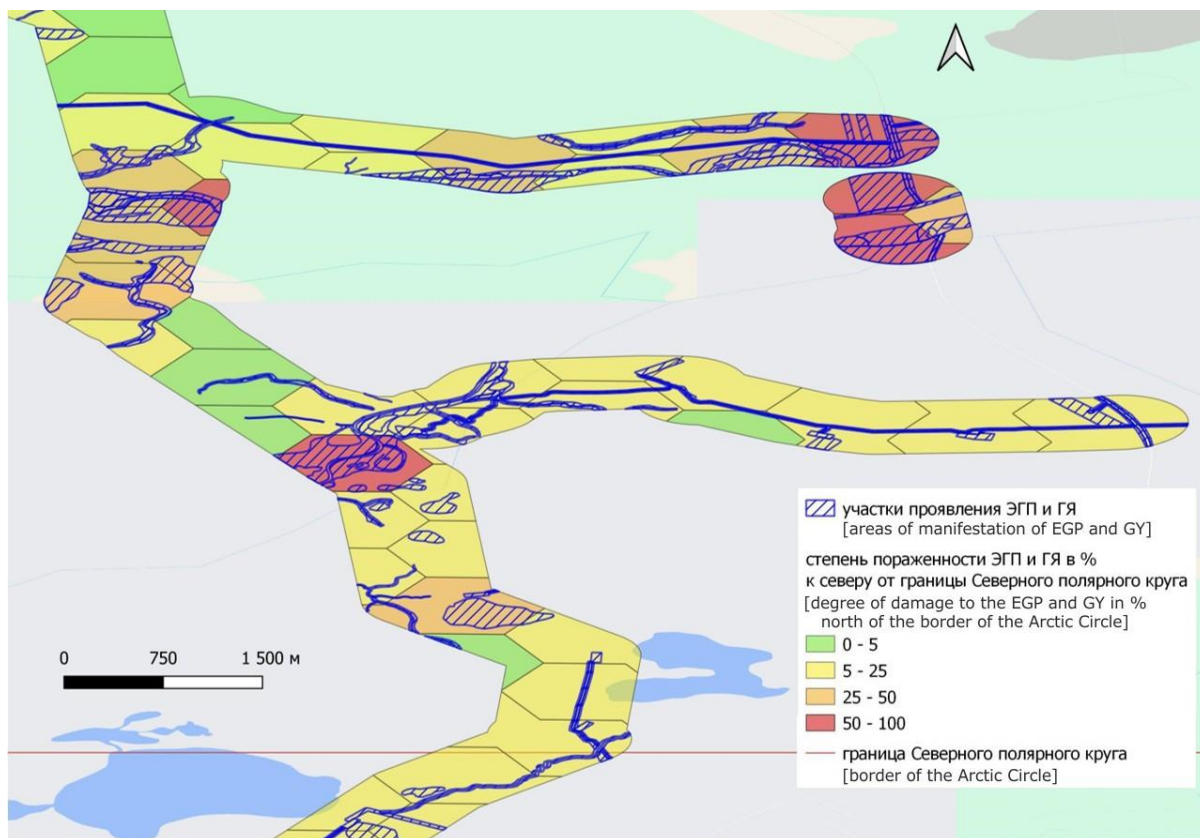


Рис. 5. Схема пораженности территории УНГКМ ЭГП и ГЯ в районе пересечения границы Северного полярного круга.

[Fig. 5. Scheme of the infestation of the territory of the UNOGKM with EGP and GYA in the area where the border of the Arctic Circle intersects.]

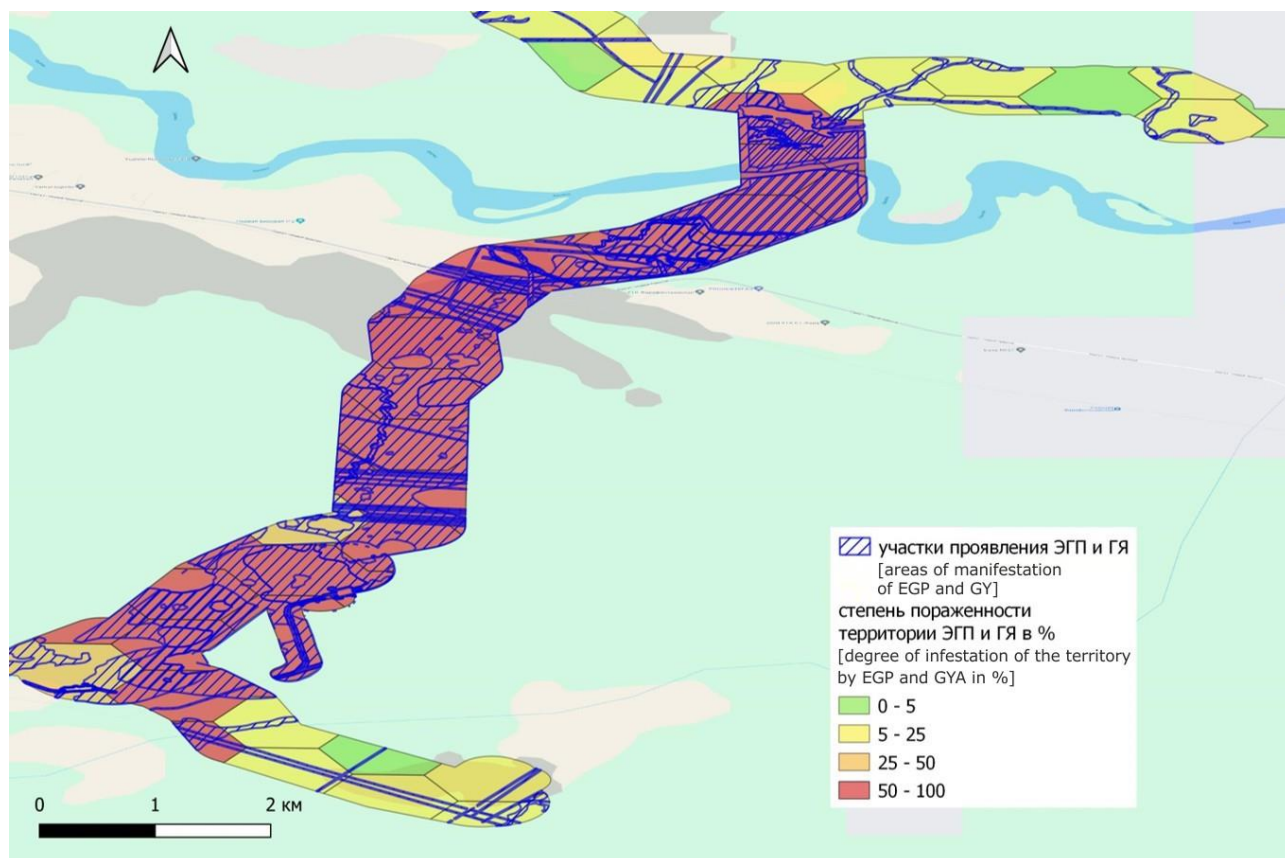


Рис. 6. Схема пораженности южного участка УНГКМ ЭГП и ГЯ.

[Fig. 6. Scheme of the infestation of the southern section of the UNGCF by EGP and GJ.]

На рисунке 4 представлен самый северный участок области исследований, в границах которого доминируют гексагоны с процентом пораженности 5–25, что соответствует условно удовлетворительному состоянию.

Центральный участок области исследований, расположенный в месте пересечения и к северу от границы Северного полярного круга, представлен на рисунке 5. В отличие от вышерассмотренного северного участка данный район имеет более мозаичную структуру на фоне доминирования гексагонов с процентом пораженности экзогенными процессами и явлениями от 5 до 25%.

Самый южный участок области исследований (рис. 6) характеризуется наличием ярко выраженной зоны максимальной степени пораженности ЭГП и ГЯ – более 50 %, что коррелирует с катастрофическим состоянием.

Произведенный анализ имеющихся материалов свидетельствует о развитии на территории участков обустройства УНГКМ таких групп ЭГП и ГЯ, как:

1. *Склоновые процессы, обусловленные перемещением вещества вниз по склону за счет действия силы тяжести*, представлены осыпными процессами и оползневыми телами на антропогенно-недеформированных склонах речных долин, а также проявлениями солифлюкции в слое сезонного оттаивания грунтов.

2. *Флювиальные процессы, провоцируемые текущими водами, производящими разрушительную работу*

(эрозию), перенос материала и его аккумуляцию, на рассматриваемых площадях выражены в виде овражных форм, приуроченных к долинам рек и малым водотокам, в виде следов боковой эрозии по берегам водотоков и в виде меандрирующих русел [11].

3. *Мерзлотные (криогенные процессы), связанные с промерзанием и протаиванием грунтов в области распространения многолетнемерзлых пород*, на рассматриваемых участках представлены пучением, связанным с избыточным объемом грунтовых масс при переходе воды из жидкой фазы в твердую. Также отмечено проявление термокарста и термоабразии, которая в свою очередь сопровождается процессами солифлюкции.

4. *Эоловые процессы, связанные с деятельностью ветра*, на участках исследований проявляются в виде песчаных раздувов (дефляции) со сведенной растительностью, а также в виде аккумулятивных эоловых форм преимущественно на техногенных песчаных насыпях.

5. *Гидрологические явления* представлены процессами заболачивания, с формированием болот различного типа, и процессами подтопления, которые носят в первую очередь техногенный характер и локализуются вдоль насыпных линейных сооружений инфраструктуры УНГКМ.

6. *Выраженные в рельефе техногенные борозды*, по которым развиваются локальные зоны подтопления.

Выводы

1. Сравнительный анализ области исследований в границах месторождения показал, что северный участок характеризуется относительно однородной структурой по степени пораженности ЭГП и ГЯ с тотальным преобладанием территорий с процентом пораженности 5–25 %, при этом в пределах южного участка прослеживается некая аномальная зона с наибольшими процентами пораженности – более 50 %. Значительное развитие обозначенных процессов в пределах южного участка обусловлено нарушением сплошности мерзлотных условий, наличием таликовых зон природного и техногенного происхождения. Данные показатели определяют характер и интенсивность проявления тех или иных ЭГП и ГЯ.

2. Предложенная методика геодинамической оценки территории через определение степени пораженности ЭГП и ГЯ может быть использована с целью рационального ведения хозяйственной деятельности по 2 основным направлениям: для принятия проектных решений по инженерной защите строящихся зданий и сооружений [12] (преимущественно для участков с процентом пораженности более 25); для поддержания устойчивости природных арктических экосистем за счет исключения антропогенной активизации процессов (для участков с пораженностью до 25 %).

3. Во избежание воздействий на естественный рельеф и динамику различных видов экзогенных процессов необходимо реализовывать превентивные и защитные мероприятия:

- берегоукрепление с помощью подпорных стенок, укладки бетонных плит или наброски грунтов для борьбы с боковой эрозией;

- в целях снижения темпов оврагообразования возможно регулировать поверхностный сток, создавая водопоглощающие барьеры, возводить водозадерживающие сооружения;

- противопучинные мероприятия (частичная или полная замена пучинистых грунтов, осушение грунтов в зоне промерзания и защита их от увлажнения грунтовыми водами и поверхностным стоком);

- инженерная защита от термокарста может реализовываться следующими способами: сохранение напочвенных растительных покровов, отсыпка территории слоем песчаного или гравийно-песчаного грунта, укладка на поверхности грунта теплоизоляционных покрытий (тепловых экранов), устройство охлаждающих систем из труб вертикального и горизонтального заложения, создание вентилируемых подполий при строительстве зданий и сооружений со значительным тепловыделением, регулирование стока поверхностных вод;

- проведение строительных работ только в зимний период после промерзания сезонноталого слоя;

- передвижение тяжелой техники только по отсы-

панным уплотненным участкам;

- сооружение дренажа совместно с мероприятиями по организации поверхностного стока может приводить к снижению интенсивности процессов заболачивания и подтопления;

- защита от затопления возможна с помощью обваловывания, искусственного повышения уровня поверхности, руслорегулирующих сооружений;

- запрет сброса вод в пониженные участки рельефа во избежание растепления мерзлых грунтов.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рычагов Г. И. Геоморфология. 4-е изд. М.: Юрайт, 2024. 430 с.
2. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г., Аверкина Т. И. Теория и методология экологической геологии. Под ред. В. Т. Трофимова. М.: МГУ, 1997. 367 с.
3. Геопривязанные растровые образы комплектов Государственных геологических карт масштаба 1:200000–1:1000000. ГИС-Атлас «Недра России» [Электронный ресурс]: Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского. URL: <http://webmapget.vsegei.ru/> (дата обращения 15.05.2024)
4. Трофимов В. Т., Бадю Ю. Б., Васильчук Ю. К., Кашперюк П. И., Фирсов В. Г. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты. М.: Наука, 1987. 219 с.
5. Спиридонов А. И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 183 с.
6. Симонов Ю. Г., Кружалин В. И. Инженерная геоморфология. М.: МГУ, 1993. 208 с.
7. Жучкова В. К., Раковская Э. М. Методы комплексных физико-географических исследований. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 368 с.
8. Букс И. И., Фомин С. А. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду. М.: МНЭПУ, 1998. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Экологическая геология. М.: ЗАО Геоинформмарк, 2002. 415 с.
9. Трофимов В. Т., Королев В. А. Общая классификация геологических процессов для целей инженерной геологии. *Вестник Московского государственного университета. Серия: Геология*. 2023. № 4. С. 99–109.
10. Митрофанова М. А., Косинова И. И., Игнатенко И. М. Методические аспекты инженерно-экологической оценки почв Арктической зоны Российской Федерации // *Инженерные изыскания*. 2022. Т. XVI. № 4. С. 18–34. <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2022-16-4-18-34>.
11. Сидорчук А. Ю. Меандры речного русла. *Маккавеевские чтения – 2017*: сб. ст. конференции. М.: МГУ. 2018. С. 93–104.
12. Губарьков А. А., Алешин Г. А., Идрисов И. Р., Кириллов А. В. Мониторинг экзогенных геологических процессов на магистральном газопроводе «Заполярье – Новый-Уренгой» // *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. 2011. № 3. С. 8–14.

Methodology for geodynamic assessing the damage to the territory of the mining complex by exogenous geological processes and hydrogeological phenomena

©2024 M. A. Mitrofanova¹✉, V. A. Budarina¹, I. M. Ignatenco², I. I. Kosinova¹

¹*Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., 394018, Voronezh, Russian Federation*

²*Belgorod State National Research University, St. Pobedy, 85, 308015, Belgorod, Russian Federation*

Abstract

Introduction: the activity of exogenous geological processes (EGP) and hydrological phenomena (HP) shapes the modern appearance of the terrain, and also determines the geodynamic ecological function of the lithosphere, which was quantitatively expressed through an assessment of the degree of infestation of the surveyed territory by EGP and HP. Geodynamic assessment plays an important role in determining approaches to rational economic development of territories.

Methodology: the object of this research is the development sites of the Urengoy oil and gas condensate field, located within the boundaries of the Purovsky and Nadymsky districts of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug. As initial data, the results of engineering and environmental surveys carried out at the Urengoy oil and gas condensate field development sites in the period 2015–2021 were analyzed. The methodology for assessing the extent of the territory affected by EGP and HP was based, firstly, on calculating the percentage of the area of territories exposed to the influence of EGP and HP to the area of hexagonal sections into which the study area was automatically divided using the tiling function in the ArcGIS program; secondly, on further ranking of all selected hexagons according to a four-rank classification of damage.

Results and discussion: analysis of the available materials from engineering and environmental surveys made it possible to compile a register of the main types of EGP and HP recorded at the sites of the UNOGCF development, among which slope processes were noted (talus processes on anthropogenically untransformed slopes in river valleys and on the slopes of technogenic sand embankments, landslides on slopes river valleys, solifluction occurring in the layer of seasonal thawing of soils on slopes steeper than 2–3 degrees); fluvial processes (erosive activity of watercourses and reservoirs, reworking of banks, thermal abrasion); cryogenic processes (thermokarst, traces of cryogenic heaving observed everywhere); aeolian processes activated on leveled surfaces devoid of vegetation and not classified as hazardous according to the requirements of the current legislation of the Russian Federation; hydrological phenomena, expressed primarily in technogenic flooding, swamping with the formation of various types of swamps, flooding of the territory during periods of high water, when the processing of the banks is most intense.

A significant area of the surveyed territory of the UNOGCF (62 % of hexagons) is characterized by the percentage of EGP and HP infestation in the range of 5–25, which correlates with the category of environmental risk.

Conclusion: a comparative analysis of the research area within the boundaries of the deposit showed that the northern area is characterized by a relatively homogeneous structure in terms of the degree of infestation of EGP and HP with a total predominance of territories with a percentage of infestation of 5–25 %, while within the southern area a certain anomalous zone can be traced with the highest percentages of infestation – more 50 %. Such differentiation of the study area may be due to differences in ecological and geological conditions, as well as the degree of anthropogenic transformation, which in turn determines the nature and intensity of the manifestation of certain EGP and HP.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Marina A. Mitrofanova, e-mail: marfa-mma@mail.ru

The proposed methodology for geodynamic assessment of the territory through determining the degree of infestation of EGP and HP can be used for the purpose of rational management of economic activities in 2 main areas: for making design decisions on the engineering protection of buildings and structures under construction (mainly for areas with a percentage of infestation of more than 25); to maintain the sustainability of natural Arctic ecosystems by leveling anthropogenic activation of processes (for areas with damage up to 25 %).

Keywords: geodynamic ecological function of the lithosphere, exogenous geological processes, hydrogeological phenomena, damage to the territory, assessment.

Funding: project No 20180180 "Management of the Process of Reproduction of Ecosystems in Agrolandscapes" of the Priority 2030 Program

For citation: Mitrofanova M. A., Budarina V. A., Ignatenko I. M., Kosinova I. I. Methodology for geodynamic assessing the damage to the territory of the mining complex by exogenous geological processes and hydrogeological phenomena // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2024, no. 3, pp. 96–108. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/3/96-108>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Rychagov G. I. *Geomorfologija* [Geomorphology]. 4 ed. Moscow, Yurait publ., 2024, 430 p. (In Russ.)
2. Trofimov V. T., Ziling D. G., Averkina T. I. *Teorija i metodologija jekologicheskij geologii* [Theory and methodology of environmental geology]. Ed. V. T. Trofimova. Moscow, MSU publ., 1997, 367 p. (In Russ.)
3. Geoprivjazannye rastrovye obrazy komplektov Gosudarstvennyh geologicheskij kart mashtaba 1:200000–1:1000000. GIS-Atlas «Nedra Rossii» [Georeferenced raster images of sets of State geological maps at a scale of 1:200000–1:1000000. GIS-Atlas «Russian Subsoil»]: Available at: <http://webmapget.vsegei.ru/> (accessed 15.05.2024) (In Russ.)
4. Trofimov V. T., Badu Ju. B., Vasil'chuk Ju. K., Kashperjuk P. I., Firsov V. G. *Geokriologicheskoe rajonirovanie Zapadno-Sibirskoj plity* [Geocryological zoning of the West Siberian plate]. Moscow, Nauka publ., 1987, 219 p. (In Russ.)
5. Spiridonov A. I. *Geomorfologicheskoe kartografirovanie* [Geomorphological mapping]. Moscow, Nedra publ., 1975, 183 p. (In Russ.)
6. Simonov Ju. G., Kruzhalin V. I. *Inzhenernaja geomorfologija* [Engineering geomorphology]. Moscow, MSU publ., 1993, 208 p. (In Russ.)
7. Zhuchkova V. K., Rakovskaja Je. M. *Metody kompleksnyh fiziko-geograficheskij issledovanij* [Methods of complex physical-geographical research]. Moscow, Academy publ., 2004, 368 p. (In Russ.)
8. Buks I. I., Fomin S. A. *Jekologicheskaja jekspertiza i ocenka vozdeystvija na okruzhajushhuju sredu* [Environmental expertise and environmental impact assessment]. Moscow, MNEPU publ., 1998.
9. Trofimov V. T., Ziling D. G. *Jekologicheskaja geologija* [Ecological geology]. Moscow, Geoinformmark publ., 2002, 415 p. (In Russ.)
10. Trofimov V. T., Korolev V. A. *Obshhaja klassifikacija geologicheskijh processov dlja celej inzhenernoj geologii* [General classification of geological processes for the purposes of engineering geology]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologija – Proceedings of Moscow State University. Series: Geology*, 2023, no. 4, pp. 99–109 (In Russ.)
11. Mitrofanova M. A., Kosinova I. I., Ignatenko I. M. *Metodicheskie aspekty inzhenerno-jekologicheskijh ocenki pochv Arkticheskij zony Rossijskoj Federacii* [Methodological aspects of engineering and environmental assessment of soils in the Arctic zone of the Russian Federation]. *Inzhenernye izyskanija – Engineering Surveys*, vol. XVI, no. 4, p. 18–34 (In Russ.)
12. Sidorchuk A. Ju. *Meandry rechnogo rusla* [River channel meanders]. *Makkaveevskie chtenija – 2017: sb. st. konferencii* [Maccabean Readings – 2017: coll. Art. conference]. Moscow, MSU publ., 2018, pp. 93–104 (In Russ.)
13. Gubar'kov A. A., Aleshin G. A., Idrisov I. R., Kirillov A. V. *Monitoring jekzogennyh geologicheskijh processov na magistral'nom gazoprovode «Zapoljarnoe – Novyj-Urengoj»* [Monitoring of exogenous geological processes on the Zapoljarnoye - Novy-Urengoy main gas pipeline]. *Izvestija vysshijh uchebnyh zavedenij. Neft' i gaz. – News of higher educational institutions. Oil and gas*, 2011, no. 3, pp. 8–14 (In Russ.)
14. Mitrofanova Marina Aleksandrovna, aspirant, Voronezhskij gosudarstvennyj universitet, Voronezh, RF; nachal'nik otдела inzhenerno-ekologicheskijh izyskanij upravlenija ekologicheskogo projektirovanija, izyskanij i kontrolya OOO «Gazprom morskijh projekty», Moskva, RF; e-mail: marfa-mma@mail.ru; ORCID 0009-0005-1198-6746
15. Budarina Viktorija Aleksandrovna, k.ju.n., docent Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Voronezh, RF; e-mail: budarinav@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8091-0730
16. Ignatenko Ignat Michajlovich, k.t.n., docent, direktor instituta nauk o Zemle Belgorodskogo gosudarstvennogo nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta, Belgorod, RF; e-mail: ignatenko_i@bsu.edu.ru; ORCID 0000-0002-9676-5774
17. Kosinova Irina Ivanovna, d.g.-m.n., profesor, Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Voronezh, RF; e-mail: kosinova777@yandex.ru; ORCID 0000-0002-5439-5197
18. Avtory pročitali i odobрили okončatel'nyj variant rukopisi.
19. Marina A. Mitrofanova, Postgraduate student, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; Head of the Department of Engineering and Environmental Surveys of the Department of Environmental Design, Surveys and Control LLC «Gazprom Sea projects»; e-mail: marfa-mma@mail.ru; ORCID 0009-0005-1198-6746
20. Victoria A. Budarina, PhD in Juridical, Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: budarinav@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8091-0730
21. Ignat M. Ignatenko, PhD in Technical, Associate Professor, Director of the Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation; e-mail: ignatenko_i@bsu.edu.ru; ORCID 0000-0002-9676-5774
22. Irina I. Kosinova, PhD in Geol.-Min., Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: kosinova777@yandex.ru; ORCID ORCID 0000-0002-5439-5197

All authors have read and approved the final manuscript.