

ФОРМИРОВАНИЕ КАРТЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ОПОЛЗНЕВОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ

© А.А. Мальцев, Ю.В. Петров

*Тюменский государственный университет, г. Тюмень**Статья поступила 02.04.2025 г., принята к публикации 03.09.2025 г.*

Аннотация. Согласно ежегодным докладам об экологической ситуации в Тюменской области, 60% населенных пунктов на территории муниципальных образований Тюменской области подвержены негативному влиянию экзогенных геологических процессов, большая часть которых приходится на оползни. Для расчета вероятности появления оползней можно применить метод расчета геодинамического оползневого потенциала. Изучение геодинамического потенциала территорий является важным аспектом для обеспечения устойчивого природопользования и изучения экзогенных геологических процессов. **Целью работы** является расчет геодинамического оползневого потенциала на территории Ишимского района Тюменской области и дать рекомендации для мероприятий на его основе, с целью обеспечения устойчивого развития территории. В качестве методов использованы картографический анализ, обработка данных дистанционного зондирования, геоинформационные технологии (ГИС) и статистический анализ факторов риска. **Результаты исследования** включают районирование исследуемой территории по уровням геодинамического оползневого потенциала, выявление основных факторов, влияющих на активизацию экзогенных геологических процессов. Данный подход может быть использован при планировании природоохранных мероприятий, инженерных изысканиях и мониторинге территорий с повышенной геодинамической активностью.

Ключевые слова: геодинамический потенциал, оползневой потенциал, экзогенные геологические процессы, природопользование, оползневые процессы, районирование

Формат цитирования: Мальцев А.А., Петров Ю.В. Использование карты геодинамического оползневого потенциала для обеспечения устойчивого развития территории // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2025. Том 10, № 2(40). С. 47-54. DOI: 10.25744/genb.2025.40.2.007

Введение. Территория Тюменской области, как и прочие регионы Российской Федерации, испытывает на себе негативное влияние проявлений экзогенных геологических процессов (ЭГП) - совокупности геологических процессов, происходящих на поверхности Земли или в её верхних слоях под воздействием внешних факторов, таких как климат, гидросфера, биосфера и деятельность человека, обусловленные действием солнечной энергии, силы тяжести и атмосферных явлений. Они наносят прямой и косвенный социально-экономический ущерб региону. Создают угрозы безопасности людей в экономически освоенных районах, нормальному функционированию промышленных предприятий, вызывают разрушение инженерно-хозяйственных сооружений, жилых домов, потерю продуктивности сельскохозяйственных и лесных угодий [1, 7, 8, 9, 10].

Согласно ежегодным докладам об экологической ситуации в Тюменской области, 60% населенных пунктов на территории муниципальных образований Тюменской области подвержены негативному влиянию ЭГП. Отрицательное воздействие отражается прежде всего на городских территориях, жилых домах и хозяйственных постройках, линейных объектах, таких как ЛЭП, а также на землях сельскохозяйственного назначения [3-5].

Достаточно много ЭГП, особенно оползней, зафиксировано на территории

Ишимского района Тюменской области. В 2022 при мониторинговых работах было обследовано 50 инженерно-хозяйственных объектов на территории Ишимского района Тюменской области, больше половины которых подвержены негативному воздействию оползнеобразования, либо находятся в зоне их проявления [4].

В связи с опасностью данных процессов возникает необходимость их прогнозирования. Это позволит более рационально использовать земли, увидеть территории, которые могут в будущем испытывать на себе негативное влияние процессов оползнеобразования.

Для данной цели существует метод определения геодинамического потенциала территории. Данный метод позволяет рассчитать вероятность возникновения того или иного вида ЭГП в каждой точке исследуемой территории. Основной особенностью данного метода является учет многофакторности ЭГП. При определении геодинамического потенциала территории учитываются факторы окружающей среды, которые влияют на возникновения ЭГП [11, 13-14].

Цель работы – рассчитать геодинамический оползневой потенциал на территории Ишимского района Тюменской и дать рекомендации для мероприятий на его основе, с целью обеспечения устойчивого развития территории.

Основная часть. Методика расчета

геодинамического потенциала разработана Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидрогеологии и инженерной геологии. Данный метод предназначен для составления карты пространственного прогноза проявлений или активизации исследуемого процесса на изучаемой территории с отнесением ее к определенному периоду времени. Продолжительность периода зависит от изменчивости факторов – процессов (эрозии, абразии, климатического и т.д.). Размах значений на всей территории каждого j -го фактора (из набора: 1, 2, ..., j , ..., m) разбивается на классы (интервалы). Число классов (1, 2, ..., I , ..., s) принимается в пределах 3-5 [12].

Далее выбранные для построения карты оползневоегo потенциала факторы подразделяются на классы по диапазонам их значений, для дальнейшего построения вспомогательных карт районирования.

После построения карт районирования исследуемой территории необходимо произвести расчет значения вероятностей для классов каждого фактора [12]:

$$P_{ji} = N_{onji} / S_{ji} \quad (1)$$

где P_{ji} – значение вероятности

i - класса

j - фактора

N_{onji} – число оползней, находящихся в пределах площади существующих проявлений исследуемого процесса

S_{ji} – площадь всего класса

Сам геодинамический потенциал W_{on} любого элементарного участка определяется как вероятность суммы конечного числа событий с допущением независимости действий факторов m и изменяется в пределах от 0 до 1 [12]:

Построение прогнозной карты осуществляется путем районирования по значениям геодинамических потенциалов. Число выделяемых на карте районов может быть разным в зависимости от целевых задач, однако, оптимальное их число от 3 до 5.

$$W_{on} = 1 - \prod_{k=1}^m (1 - P_{ji}) \quad (2)$$

Для этого весь диапазон изменений величины геодинамического потенциала разбивается на выборочное число интервалов и участки с близкими значениями потенциалов, попадающие в один из этих интервалов, объединяются в районы различной степени

подверженности исследуемому процессу (слабой, средней, сильной и т.д.) [12].

В данной работе для построения карты оползневоегo потенциала на территории Ишимского района Тюменской области была использована ГИС-система QGIS, различные геологические карты исследуемой территории, цифровая модель рельефа, а также информация о местоположении активизации оползневых процессов на вышеописанной территории, полученная путем дешифрирования спутниковых космоснимков [2, 6, 15].

В настоящей работе для расчета оползневоегo потенциала на территории Ишимского района Тюменской области выбраны следующие факторы:

- Характерные четвертичные отложения
- Мощность четвертичных отложений, м
- Абсолютный уровень подземных вод, м БС
- Крутизна склона, °

Вышеперечисленный набор факторов обусловлен наличием в открытом доступе картографического материала для этих факторов на исследуемую территорию.

Характерные типы грунтов и их мощность, а также гидрогеологические условия и крутизна склонов исследуемой территории представлены на рисунке 1. Карты четвертичных отложений, их мощности и абсолютных уровней подземных вод были построены на основе геологических карт, путем их оцифровки.

Карта крутизны склонов была построена путем создания растрового изображения с помощью инструмента «Крутизна» и его дальнейшего конвертирования в полигональный векторный слой, который стал основой для карты.

На листах О-42-XXIV; О-42-XXXV; N-42-V; N-42-V Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200 000, отображены четвертичные отложения и их мощность, а также гидроизопьезы, которые показывают уровень подземных вод [2, 6].

Крутизна склона была рассчитана с помощью цифровой модели рельефа (ЦМР) – растрового изображения, в каждом пикселе которого имеется значение отметки высоты земной поверхности над уровнем моря. Значения крутизны склонов были получены с помощью ЦМР FABDEM (Forest and Buildings removed Copernicus DEM), которая была создана группой британских исследователей на основе другой ЦМР Copernicus DEM.

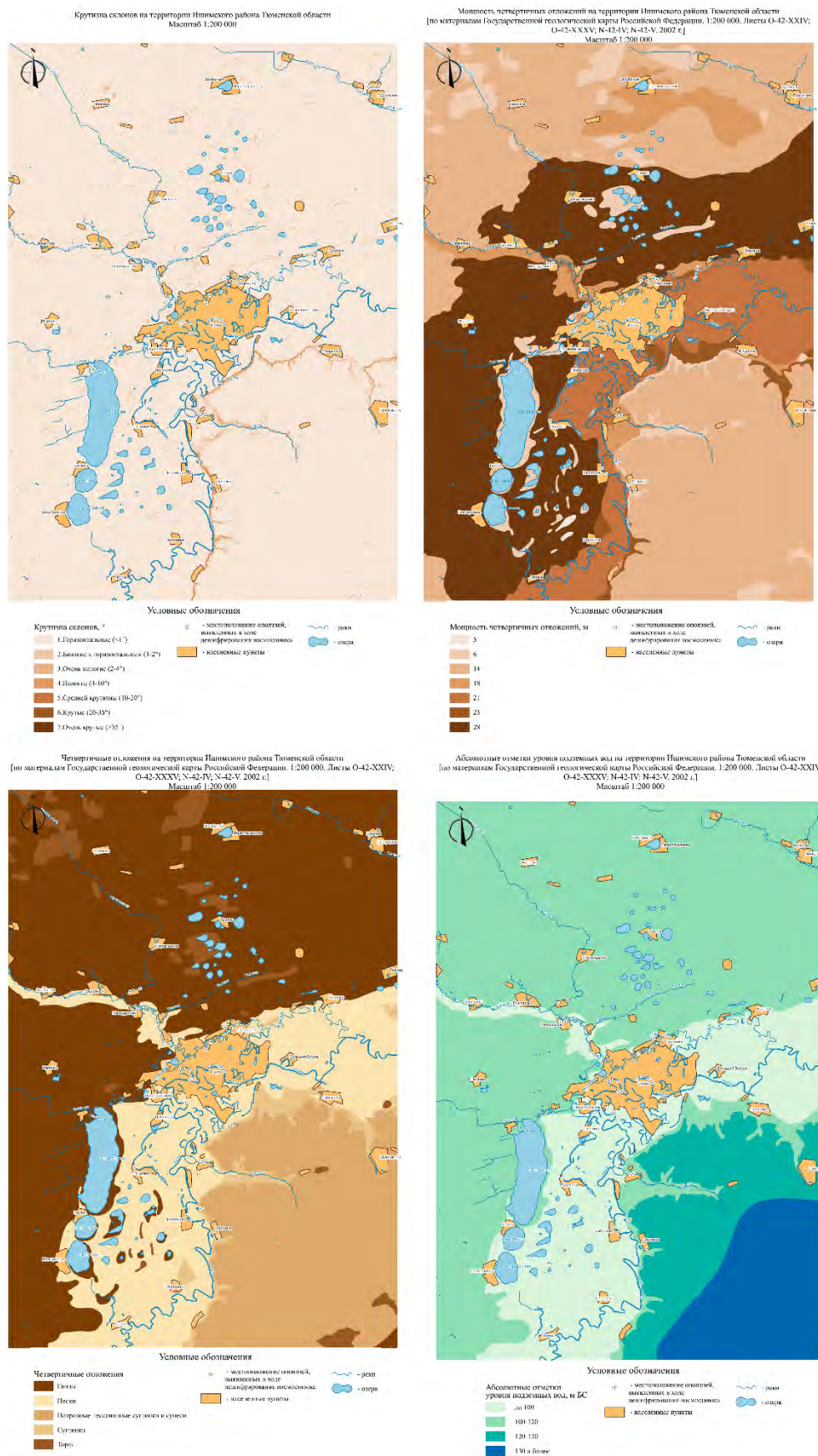


Рис. 1. Карты факторов оползнеобразования на территории Ишимского района Тюменской области

Данная ЦМР имеет преимущество над другими: на ней отсутствуют населенные пункты и другие объекты, которые при автоматическом расчете крутизны склонов

могут по ошибке приниматься за возвышенность [15].

Важным фактором для расчета геодинамического потенциала являются характер и мощность четвертичных образований. Для исследуемой территории характерны суглинки, глины, покровные лессовидные суглинки, торфы, а также пески, имеющие мощность от 5 до 28 м [6].

Учет гидрогеологических условий, а конкретно уровня подземных вод, целесообразен для расчета геодинамического потенциала, так как грунтовые воды создают благоприятные условия для увеличения рисков оползнеобразования и уменьшения устойчивости склона. В пределах исследуемой территории подземные воды залегают на абсолютных отметках 100-130 м БС [2].

Крутизна склонов при расчете геодинамического потенциала является основополагающим фактором, так как от нее напрямую зависит риск возникновения процессов образования оползней. На исследуемой территории значения крутизны склонов варьировались от горизонтальных ($<1^\circ$) до очень крутых ($>35^\circ$).

Для расчета геодинамического потенциала были выделены следующие классы выбранных факторов (Табл. 1)

Таблица 1

Выделенные факторы и классы оползнеобразования для построения карты геодинамического потенциала на территории Ишимского района Тюменской области.

Фактор	Классы
Четвертичные образования	Пески
	Суглинки
	Глины
	Торфы
	Покровные лессовидные суглинки
Мощность четвертичных образований, м	5
	6
	14
	18
	21
	23
	28
Крутизна склонов, °	Горизонтальные ($<1^\circ$)
	Ближние к горизонтальным (1-2°)
	Очень пологие (2-4°)
	Пологие (4-10°)
	Средней крутизны (10-20°)
	Крутые (20-35°)
	Очень крутые ($>35^\circ$)
Абсолютный уровень подземных вод, м БС	До 100
	100-120
	120-130
	130 и более

После выделения территорий с уникальными значениями каждого фактора по значениям вероятностей производился расчет значения оползневого потенциала $W_{оп}$ для каждой полученной территории по формуле 2. Карта оползневого потенциала на территории Ишимского района Тюменской области представлена на рисунке 2. Градация оползневого потенциала на территории Ишимского района Тюменской области представлена в таблице 2.

Таблица 2

Градация оползневого потенциала $W_{оп}$
(составлена авторами)

Оползневой потенциал $W_{оп}$	Значение
Очень низкий	0-0,1
Низкий	0,1-0,3
Средний	0,3-0,4
Высокий	0,4-0,5

Большая часть района характеризуется низким и очень низким значениями оползневого потенциала, что указывает на устойчивость геологических условий. Это связано с равнинным рельефом, пологими склонами. Однако на правом берегу реки Ишим выделяются зоны с высоким и средним потенциалом оползневой активности. Значительно выражено влияние водных объектов на оползневую опасность.

Деятельность рек выступает ключевым фактором, провоцирующим нестабильность склонов.

Особенно высокий риск наблюдается в извилистых участках русел и прибрежных зонах, где сочетаются крутые склоны и близкое залегание подземных вод.

Населенные пункты района в основном расположены в зонах с низким и средним риском, что снижает прямую угрозу для инфраструктуры. Тем не менее, отдельные населенные пункты, такие как Орловка и Плешково, находятся вблизи участков с высоким потенциалом, так как расположены на крутом правом берегу реки Ишим. Город Ишим находится в относительно безопасном районе, но протекающая через город река Ишим сохраняет риск локальных оползней при экстремальных погодных явлениях.

Также на севере исследуемой территории наблюдаются множество небольших участков с средним и высоким оползневым потенциалом. В основном они наблюдаются на локальных возвышенностях, отдельных холмах, где уровень подземных вод и крутизна склона достаточны для образования оползней.

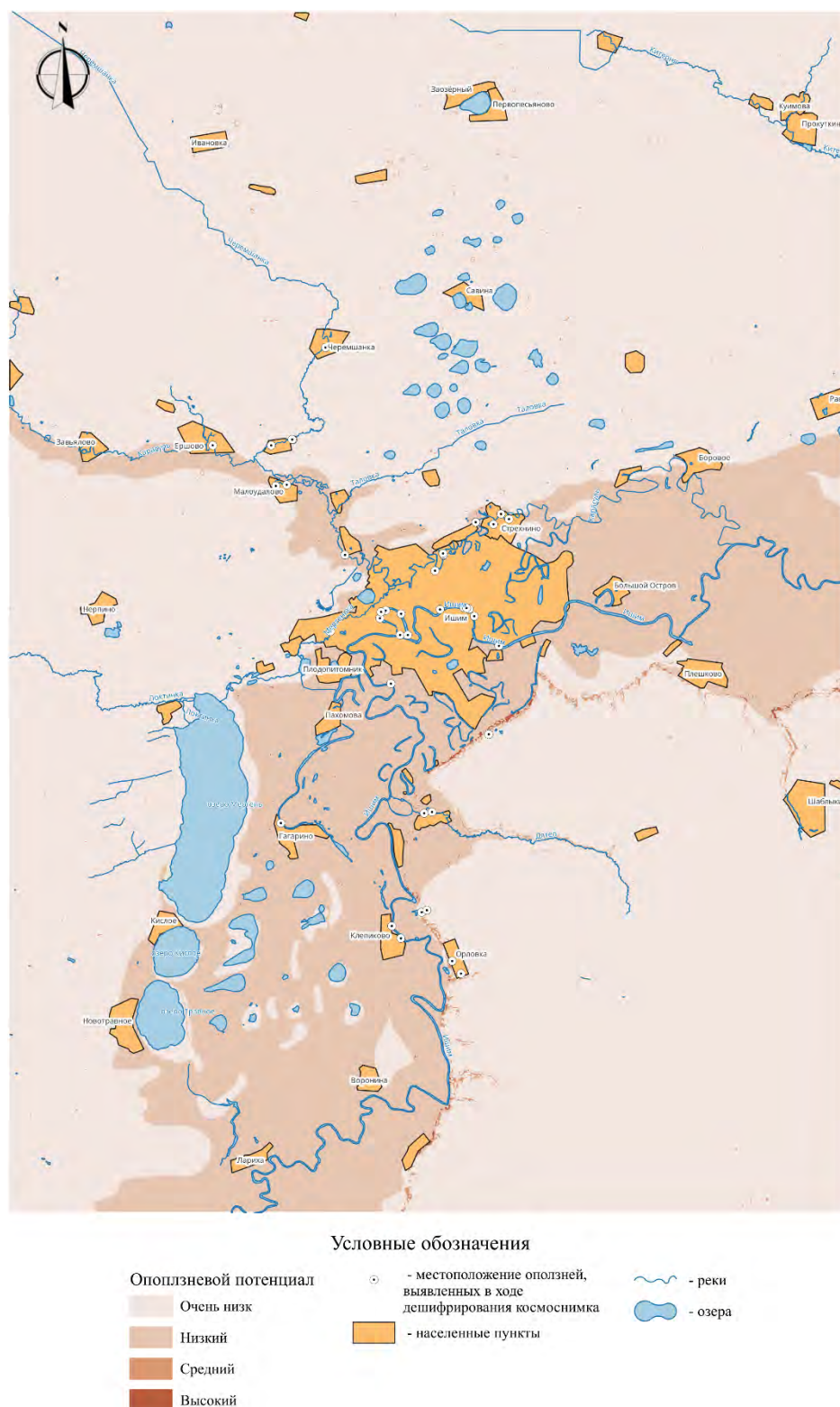


Рис. 2. Оползневой потенциал территории Ишимского района Тюменской области

Закключение. Карта оползневого потенциала территории является эффективным инструментом для широкого круга пользователей, включая органы власти, научное сообщество, организации, занимающиеся экологическим мониторингом, а также население, планировщиков в области градостроения и руководителей различных компаний.

Данный тип карт имеет как сильные, так и слабые стороны. Сильной стороной является возможность численно определить вероятность проявления оползней. Набор факторов, используемых для построения карты, может корректироваться в зависимости от региональных условий или конкретных целей. Однако одной из слабых сторон является допущение независимости факторов

оползнеобразования, которые в реальности могут быть взаимосвязаны. Кроме того, для получения более точных результатов необходимы достоверные и полные данные, что требует проведения изыскательных работ.

Карта представляет собой один из ключевых инструментов для стратегического планирования и обеспечения безопасности территорий. Ее применение способствует оптимизации размещения объектов инфраструктуры, таких как дороги, мосты, жилые комплексы и промышленные предприятия, с учетом зон риска. Например, при проектировании новых трасс или жилых районов можно избегать участков с высоким и средним потенциалом оползневой активности, а при необходимости предусматривать дополнительные меры защиты, что позволит снизить вероятность аварий, вызванных подвижками грунта, и уменьшить затраты на восстановление объектов в будущем. Для населенных пунктов, расположенных вблизи опасных зон, карта может послужить основой для разработки комплексных мер по минимизации рисков. На ее основе могут быть созданы долгосрочные программы по защите территорий. При планировании действий в чрезвычайных ситуациях карта позволит

определить приоритетные направления эвакуации, безопасные районы для размещения временных лагерей и маршруты, исключая прохождение через участки с высоким риском.

В экологическом контексте карта может быть использована для оценки воздействия хозяйственной деятельности на природные системы. При строительстве гидротехнических сооружений, трубопроводов или промышленных объектов она сможет помочь прогнозировать последствия вмешательства в окружающую природную среду. Использование карт оползневого потенциала совместно с данными кадастрового учета и градостроительных планов позволяет учитывать антропогенные факторы, такие как строительство дорог, дренажных систем, вырубка лесов или сельскохозяйственная деятельность, с целью определения наиболее деструктивного вида воздействия на верхний слой литосферы.

Таким образом, карта оползневого потенциала территории не только визуализирует риски, но и формирует научную базу для принятия решений в сферах градостроительства, экологии, гражданской защиты и экономики, способствуя устойчивому развитию региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаркова-Лях И.В., Лях А.М. Состояние берегов и экзогенные геологические процессы между м. Константиновский и м. Виноградный на Юго-Западном побережье Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология, 2019. Т. 5, №2. С. 118-133. DOI 10.21072/eco.2021.10.08.
2. Гидрогеологическая карта: О-42-XXXIV (Ишим), О-42-XXXV (Абатское), N-42-IV (Казанское), N-42-V (Сладково). Государственная геологическая карта РФ. Издание второе. Западно-Сибирская серия. Тюменско-Салехардская подсерия. Гидрогеологическая карта, масштаб: 1:200000, серия: Западносибирская, Тюменско-Салехардская подсерия, составлена: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017 г., редактор(ы): Кузин И.Л. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/maps/17618>.
3. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2021 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://admtumen.ru/>.
4. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2022 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://admtumen.ru/>.
5. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2023 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://admtumen.ru/>.
6. Карта плиоцен-четвертичных образований: О-42-XXXIV (Ишим), О-42-XXXV (Абатское), N-42-IV (Казанское), N-42-V (Сладково). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Западно-Сибирская серия. Тюменско-Салехардская подсерия. Карта плиоцен-четвертичных образований, масштаб: 1:200000, серия: Западносибирская, Тюменско-Салехардская подсерия, составлена: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017 г., редактор(ы): Кузин И.Л. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/maps/17621>.
7. Квашук С.В. Оценка и прогноз инженерно-геологических условий Кимканского железорудного месторождения // Успехи современного естествознания, 2017. № 11. С. 68-72.
8. Козырева Е. А., Бабичева В.А., Мазаева О.А. Трансформация геологической среды в зоне влияния водохранилищ Ангарского каскада ГЭС // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 2018. Т. 25. С. 66-87. DOI 10.26516/2073-3402.2018.25.66.
9. Королев Э.А., Ескин А.А., Королев А.Э., Бариева Э.Р. Особенности инженерно-геологических условий территории под строительство города Иннополис (Республика Татарстан) // Успехи современного естествознания, 2024. № 2. С. 54-60. DOI 10.17513/use.38218.
10. Красильников П.А., Аброськин О.Д., Красильникова С.А., Ашихмин С.Г., Батракова Г.М., Тагильцев

- С.Н. Результаты мониторинга опасных инженерно-геологических процессов на территории Пермского края в 2022 году // Успехи современного естествознания, 2024. № 3. С. 120-125. DOI 10.17513/use.38239.
11. Мальцев А.А., Петров Ю.В. Определение геодинамического оползневого потенциала на территории Казанского района Тюменской области // Геология, география и глобальная энергия, 2024. № 4(95). С. 140-145. DOI 10.54398/20776322_2024_4_140.
 12. Методика изучения и прогнозирования экзогенных геологических процессов / Мин-во геол. СССР, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидрогеологии и инженерной геологии / Под ред. А. И. Шеко, С. Е. Гречищева. М.: Недра, 1988. 216 с.
 13. Петрищев В.П., Норейка С.Ю., Украинченко Д.А. Проблемы техногенной трансформации ландшафтов Илецкого соляного месторождения // Проблемы региональной экологии, 2017. № 6. С. 60-63.
 14. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Зонирование высокогорных территорий по геозоологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями // Геология и геофизика Юга России, 2021. Т. 11, № 1. С. 81-94. DOI 10.46698/VNC.2021.15.66.007.
 15. Neal J, Hawker L. FABDEM V1-2 [Электронный ресурс]. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5523/bris.s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>

USE OF THE MAP OF GEODYNAMIC LANDSLIDE POTENTIAL TO ENSURE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE TERRITORY

© A.A. Maltsev, Y.V. Petrov

Tyumen state university, Tyumen

Abstract. Relevance: According to the annual reports on the environmental situation in the Tyumen Oblast, 60% of settlements in the Tyumen Oblast municipalities are negatively affected by exogenous geological processes, most of which are landslides. To calculate the probability of landslides occurrence it is possible to apply the method of calculation of geodynamic landslide potential. The study of geodynamic potential of territories is an important aspect to ensure sustainable nature management and study of exogenous geologic processes. **Goal** – calculation of geodynamic landslide potential on the territory of Ishim district, Tyumen region. **Research methods:** cartographic analysis, remote sensing data processing, geographic information technologies (GIS) and statistical analysis of risk factors. **Results of the work and discussion:** The results of the study include zoning of the study area by levels of geodynamic landslide potential, identification of the main factors influencing the activation of exogenous geological processes. This approach can be used in planning of environmental protection measures, engineering surveys and monitoring of territories with increased geodynamic activity.

Keywords: geodynamic potential, landslide potential, exogenous geological processes, nature management, landslide processes, zoning

REFERENCES

1. Agarkova-Lyakh, I. V. and Lyakh, A. M. (2019) "The state of the coasts and the development of exogenous geological processes on south-western coasts of Crimea from cape Vinogradniy to cape Aya. Proceedings of the T.I.Vyazemsky Karadag Scientific Station", Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences, Vol. 4, No. 2 (10), pp. 76-89. DOI 10.21072/eco.2021.10.08.
2. All-Russian Scientific Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology (1988). Methodology for the study and forecasting of exogenous geological processes. Edited by A.I. Sheko, S.E. Grechishchev. Moscow: Nedra, 216 p.
3. Federal State Budgetary Institution "VSEGEI" (2017). Hydrogeological map: O-42-XXXIV (Ishim), O-42-XXXV (Abatskoye), N-42-IV (Kazanskoye), N-42-V (Sladkovo). State Geological Map of the Russian Federation. Second edition. West Siberian series. Tyumen-Salekhard subseries. Scale: 1:200000. Available at: <https://www.geokniga.org/maps/17618>
4. Department of Environmental Protection of the Tyumen Region (2021). Report on the environmental situation in the Tyumen region in 2021. Available at: <https://admtymen.ru>
5. Department of Environmental Protection of the Tyumen Region (2022). Report on the environmental situation in the Tyumen region in 2022. Available at: <https://admtymen.ru>
6. Department of Environmental Protection of the Tyumen Region (2023). Report on the environmental situation in the Tyumen region in 2023. Available at: <https://admtymen.ru>
7. Kvashuk, S.V. (2017) "Assessment and forecasting of geotechnical conditions for the Kimkan Iron ore field", Advances in current natural sciences, No. 11, pp. 68-72.
8. Kozyreva, E.A., Babicheva, V.A., Mazaeva, O.A. (2018) "Transformation of the Geological Environment in the Affected Area of the Reservoir of the Angarsk HPP Cascade", The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences, Vol. 25, pp. 66-87. DOI 10.26516/2073-3402.2018.25.66.
9. Korolev, E.A., Eskin, A.A., Korolev, A.E., Barieva, E.R. (2024) "Features of engineering and geological conditions of territory for the Innoopolis city construction (Tatarstan Republic)", Advances in current natural sciences, No. 2, pp. 54-60. DOI 10.17513/use.38218.
10. Krasilnikov, P.A., Abroskin, O.D., Krasilnikova, S.A., Ashikhmin, S.G., Batrakova, G.M., Tagiltsev, S.N. (2024) "Results of monitoring of dangerous engineering-geological processes on the Territory of Perm krai in 2022", Advances in current natural sciences, No. 3, pp. 120-125. DOI 10.17513/use.38239.
11. Maltsev, A.A. and Petrov, Yu.V. (2024) "Determination of geodynamic landslide potential on the Territory of

- Kazan district of Tyumen region”, *Geology, Geography and global energy*, No. 4(95), pp. 140-145. DOI 10.54398/20776322_2024_4_140.
12. Federal State Budgetary Institution "VSEGEI" (2017). Pliocene-Quaternary deposits map: O-42-XXXIV (Ishim), O-42-XXXV (Abatskoye), N-42-IV (Kazanskoye), N-42-V (Sladkovo). State Geological Map of the Russian Federation. Second edition. West Siberian series. Tyumen-Salekhard subseries. Scale: 1:200000. Available at: <https://www.geokniga.org/maps/17621>
 13. Petrishchev, V.P., Noreyka, S.Yu., Ukrainchenko, D.A. (2017) “The Issues of the Technogenic change of the Landscapes of the Iletsk salt deposit”, *Regional Environmental Issues*, No. 6, pp. 60-63.
 14. Chotchaev, Kh.O., Burdzieva, O.G., Zaalishvili, V.B. (2021) “Zoning of high mountainous areas by geoecological loads caused by geodynamic and climatic influences”, *Geologiya I Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*, Vol. 11. No. 1, pp. 81 – 94. DOI 10.46698/VNC.2021.15.66.007.
 15. Jeffrey Neal, Laurence Hawker (2023). FABDEM V1-2. DOI: <https://doi.org/10.5523/bris.s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>.