

Некоторые результаты эколого-геоморфологических исследований Арктической зоны Российской Федерации

А.В. Кошкарёв^{1)}, Э.А. Лихачёва¹⁾, А.В. Морозова^{2)**}, Л.А. Некрасова¹⁾,
Г.М. Черногаева^{1,3)***}, И.В. Чеснокова²⁾*

¹⁾ Институт географии РАН,
Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29

²⁾ Институт водных проблем РАН,
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, 3

³⁾ Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Адрес для переписки: * *akoshkarev@yandex.ru*, ** *aleksandra.v.morozova@yandex.ru*,
*** *gmchernogaeva@gmail.com*

Реферат. На основе ранее проведенных исследований, обобщения опыта и материалов лаборатории геоморфологии Института географии РАН, данных Росгидромета выполнена оценка экологического и эколого-геоморфологического состояния континентальной части Арктической зоны РФ и сделан прогноз развития криогенных, эрозионных и иных опасных процессов. Эколого-геоморфологическое состояние территории рассмотрено на трех масштабных уровнях: федеральном, региональном и локальном. На федеральном уровне выделено три группы субъектов Федерации, различающихся набором ведущих экзодинамических процессов и степенью возможного экономического ущерба от их активизации в связи с климатическими изменениями. На региональном уровне путем обработки ранее составленных мелкомасштабных тематических карт с привлечением геоинформационных технологий выполнено районирование территории Ямало-Ненецкого автономного округа, основанное на разных подходах к объединению геоморфологических процессов (криогенных и посткриогенных, эоловых, биогенно-хемогенных, гравитационных и флювиальных) в группы. Представлена итоговая карта опасности активизации экзогенных процессов при потеплении климата. На локальном уровне выявлены и проанализированы основные геоэкологические проблемы городов Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), от Мурманска на западе до Анадыря на востоке страны, с учетом значительного влияния антропогенной нагрузки на скорость и интенсивность развития природных рельефообразующих процессов.

Ключевые слова. Арктическая зона, климатические изменения, антропогенная нагрузка, криолитозона, риски.

Some results of ecological and geomorphological studies of the Russian Federation Arctic zone

A.V. Koshkarev^{1)}, E.A. Likhacheva¹⁾, A.V. Morozova^{2)**}, L.A. Nekrasova¹⁾,
G.M. Chernogayeva^{1,3)***}, I.V. Chesnokova²⁾*

¹⁾ Institute of Geography of RAS,
29, Staromonetny lane, 109017, Moscow, Russian Federation

²⁾ Institute of Water Problems of RAS
3, Gubkina str., 119333, Moscow, Russian Federation

³⁾ Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation

Correspondence address: **akoshkarev@yandex.ru*, ***aleksandra.v.morozova@yandex.ru*,
****gmchernogayeva@gmail.com*

Abstract. An assessment of the ecological and ecological-geomorphological state of the continental part of the Arctic zone of the Russian Federation was made based on previous studies, generalization of the Geomorphology Laboratory of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences experience and materials, data from the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. The ecological and geomorphological state of the territory is considered at three levels: federal, regional and local. Three groups of administrative entities are distinguished at the federal level, differing in the set of leading exodynamic processes and the degree of possible economic damage from their activation due to climatic changes. The regional level of research consisted in the processing of previously compiled small-scale thematic maps by means of GIS technologies. The result was the zoning of the territory of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, based on different approaches to combining geomorphological processes (cryogenic and postcryogenic, aeolian, biogenic-chemogenic, gravitational and fluvial) into groups. The final map of the danger of exogenous processes activation during climate warming has been contained. At the local level, the main geoecological problems of the Russian Arctic cities, from Murmansk in the west to Anadyr in the east of the country, have been identified and analyzed. The significant influence of anthropogenic load on the rate and intensity of the development of natural relief-forming processes was taken into account.

Keywords. Arctic zone, climate changes, anthropogenic load, permafrost, risks.

Введение

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) – территориально-экономический резерв страны со сложнейшими климатическими, биологическими, геологическими и другими особенностями, свойственными криолитозоне. Перестройка хозяйства страны, в том числе и в северных (полярных, арктических) регионах, потребовала решения не только экономических, геополитических, но и социальных, экологических проблем и, в частности, изучения

антропогенного морфолитогенеза в криолитозоне. Активная хозяйственная деятельность приводит к разрушению неустойчивого почвенно-растительного покрова, увеличению глубины сезонного протаивания в несколько раз, а также к активизации криогенных процессов и явлений.

Цель исследования – эколого-геоморфологический анализ сухопутной части Арктической зоны, прежде всего, оценка и картографирование степени опасности геоморфологических процессов, а также анализ пространственных особенностей геокриологической и эрозионной опасности при изменении климата с помощью геоинформационного метода исследований.

Исследования опирались на теоретические представления о геоморфологической опасности и риске, о современных геоморфологических процессах и на разработанные принципы эколого-геоморфологического картографирования, картографической оценки и долгосрочных прогнозов вероятности развития негативных геоморфологических процессов. Эколого-геоморфологический анализ выполняет «конструктивно-преобразовательную» (по И.П. Герасимову) функцию в научных исследованиях, и поэтому может быть использован в решении управленческих природопользовательских задач (Герасимов, 1996).

Материалы и методы

Эколого-геоморфологический анализ Арктической зоны Российской Федерации проведен на трех масштабно-географических уровнях.

На федеральном уровне рассмотрены возможные изменения эколого-геоморфологических ситуаций континентальной части АЗРФ. Для принятия долгосрочных решений по освоению и эксплуатации территории необходимо учитывать предполагаемые угрозы риска развития негативных природных и природно-техногенных процессов при изменении климата.

На региональном уровне показаны варианты оценки эколого-геоморфологических условий Ямало-Ненецкого автономного округа, который характеризуется сложными природными условиями. На значительной части этого субъекта Федерации, с богатыми месторождениями углеводородного сырья, идет активная хозяйственная деятельность. Эколого-геоморфологические карты регионального уровня позволяют решать стратегические задачи развития территорий с минимальными экономическими затратами и свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду.

Расположение предприятий горнодобывающей промышленности и ресурсных городов определяется, прежде всего, наличием и запасами полезных ископаемых. Эти территории характеризуются изначально неординарными условиями (структурно-тектоническими и геоморфологическими), которые осложняются интенсивно создаваемыми техногенными формами рельефа, что и определяет сложные, порой экстремальные экологические, в том числе и эколого-геоморфологические условия в этих районах. Экосистема человека в данных условиях наиболее уязвима и чрезвычайно неустойчива (Лихачёва и др., 2020).

Локальный уровень – это эколого-геоморфологические ситуации на урбанизированных территориях, которые происходят не только в результате изменений климата, но и под воздействием техногенеза. Социально-экономическое пространство АЗРФ отличается концентрированностью населения в городских поселениях, более 80% которого проживает в городах и поселках с населением более 5 тыс. человек. Города АЗРФ (в основном ресурсные и портовые) отличаются целевой экономической специализацией. Эколого-геоморфологические ситуации, существующие и возникающие, весьма ощутимо влияют на условия жизни людей, в том числе на их здоровье.

В основе эколого-геоморфологического анализа лежат следующие теоретические представления:

- *геоморфологическая опасность* – совокупность экзогенных процессов, нарушающих или разрушающих среду жизнедеятельности человека (обвалы, оползни, сели, карстовые и сейсмостектонические провалы, пучение и осадка грунтов, размыв, смыл, намыв, ветровая эрозия и аккумуляция и др.). В результате действия этих процессов может возникнуть кризисная ситуация, бедствие или катастрофа для хозяйственной структуры;
- *геоморфологический риск* – вероятность наступления (активизации) нежелательного геоморфологического события и возможного нанесения ущерба какому-либо хозяйственному объекту и населению, связанных с теми или иными геоморфологическими условиями (Лихачёва, Тимофеев, 2004).

Работа основана на ранее проведенных исследованиях авторов, обобщениях опыта и материалов лаборатории геоморфологии Института географии РАН, включая изданные карты (о них подробнее ниже), данных Росгидромета (Черногаева и др., 2017; Доклад об особенностях климата..., 2017; Обзор состояния и загрязнения..., 2016).

В экспериментальной ее части использованы средства геоинформационных систем, прочно вошедших в практику геоморфологического картографирования, когда, «после успешных экспериментов начала шестидесятых, стало очевидно, что вслед за этапом математизации географии идет этап или эпоха геоинформационных систем» (Чичагов, Кошкарев, 2013), многократно доказавших свою эффективность (Кошкарев, 2017). Фрагменты карт были оцифрованы и обработаны программным средством ГИС ArcGIS (Esri, США) с использованием функций пространственного анализа.

Результаты

Федеральный уровень. Проведенный анализ геоэкологического состояния и вероятных изменений эколого-геоморфологических ситуаций в регионах АЗРФ позволил выделить три группы субъектов Федерации с аналогичными тенденциями изменений климата (Лихачёва и др., 2020; Черногаева и др., 2017):

I. Красноярский край, Республика Саха (Якутия), Чукотский автономный округ. Опасными и потенциально опасными мерзлотными процессами поражено более 50% площади, высокая вероятность их активизации при потеплении: значительная деградация мерзлых пород, их просадки на больших территориях. Эти процессы характеризуются повышенной экзодинамической опасностью и являются причиной деформации грунтов и фундаментов, провалов свай и т.п. Здесь повышение температуры мерзлых грунтов хотя бы на 1°C вызывает снижение их несущей способности, увеличение глубины сезонного протаивания, их необратимое растепление и проседание. Особенно опасны последствия превращений мерзлых грунтов в талые. Закономерным результатом этих проявлений являются крупные и мелкие аварии инженерных сооружений.

В горных районах высокая вероятность активизации наледеобразований, солифлюкции и других динамических процессов, связанных как с деградацией мерзлоты, так и с повышенной неустойчивостью рельефа и сейсмичностью.

II. Ненецкий автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ, Республика Коми (г. Воркута). Опасными и потенциально опасными мерзлотными процессами поражено 30-50% площади, вероятность возникновения экстремальных ситуаций умеренная и высокая (преимущественно активизация термокарста, термоэрозии, пучения на урбанизированной территории). Наиболее возможным негативным последствием при изменении климата является ухудшение инженерно-геологических условий, в частности геокриологических. Это ставит под угрозу разрушения производственных и жилых зданий, различных конструкций.

III. Мурманская область, Республика Карелия, Архангельская область. Это наиболее освоенные районы АЗРФ и здесь при существующих тенденциях изменений климата возможно ухудшение эколого-геоморфологических ситуаций в зоне многолетней мерзлоты. На большой площади регионов развит комплекс природно-антропогенных процессов (плоскостной смыв, эрозия, заболачивание); вдоль магистралей трубопроводов возможна активизация техногенных процессов. Опасными процессами поражено менее 30% площади, существует умеренная и малая вероятность их активизации при потеплении. Возможны как негативные процессы, связанные с деградацией многолетней мерзлоты, увеличением площади заболоченных земель, так и стабилизация инженерно-геологических и эколого-геоморфологических условий на участках, где мерзлота отсутствует. Вне зоны многолетней мерзлоты возможно улучшение климатических условий и структуры земельного фонда, т.е. – благоприятные эколого-геоморфологические ситуации.

Региональный уровень. В качестве региона исследования выбран Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО). Это основной газодобывающий регион России, что способствует активному развитию инфраструктуры: пути сообщения, трубопроводы, рабочие поселки. Регион характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, существенно различающимися в разных районах. В пределах автономного округа можно выделить три инженерно-геологические области:

- область денудационно-аккумулятивных равнин, преимущественно сложенных ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями, расположенная на крайнем западе, юге и востоке автономного округа;
- область аккумулятивных равнин, сложенных преимущественно морскими отложениями, занимающая большую часть автономного округа;
- область крупных речных долин, к которым относятся Обь, Надым, Таз, Пур и их наиболее крупные притоки.

Для долгосрочного прогноза развития опасных экзогенных процессов при глобальном потеплении использованы следующие картографические данные:

1. Карта современной динамики рельефа Северной Евразии (в пределах России и сопредельных стран) масштаба 1:5 000 000 (Карта современной динамики..., 2003). Карта была векторизована на территорию ЯНАО, для которой выделено 18 типов экзогенных процессов, объединенных в шесть групп по направленности современного экзогенеза: комплексные денудационные, криогенные и посткриогенные, эоловые, биогенно-хемогенные, гравитационные, флювиальные.

Всем процессам был присвоен балл опасности (от 1 до 5), например, болотообразующим процессам и русловой аккумуляции присвоен 1 балл, русловой эрозии, плоскостному смыву и интенсивному морозобойному выветриванию присвоено 2 балла, солифлюкции и крипу – 3 балла, термокарсту – 4 балла, активной эрозии в сочетании с гравитационными процессами – 5 баллов.

2. Карта районирования территории России по степени экстремальности развития эколого-геоморфологических ситуаций (Козлова и др., 2006), включая карту-врезку возможных изменений эколого-геоморфологических ситуаций при глобальном потеплении (экспертное мнение авторов о возможных сценариях).

На основе этих карт территория ЯНАО была разделена на ареалы с разной степенью пораженности опасными и потенциально опасными мерзлотными процессами. Каждому из них был присвоен балл (от 1 до 4), по принципу чем выше балл, тем выше вероятность активизации мерзлотных процессов:

- опасными и потенциально опасным мерзлотным процессами поражено более 50% площади, высокая вероятность их активизации при потеплении (4 балла);
- опасными и потенциально опасными мерзлотными процессами поражено 30-50% площади, вероятность возникновения экстремальных ситуаций умеренная и высокая (3 балла);
- опасными и потенциально опасными процессами поражено менее 30% площади, существует умеренная и малая вероятность активизации процессов при потеплении (2 балла);
- активизация процессов определяется преимущественно сейсмичностью и в меньшей степени изменениями климатических условий (1 балл).

3. Карта мерзлоты и условий залегания грунтового льда для арктической зоны (Brown et al., 1997). На карте выделено 4 типа мерзлоты по типу распространения: сплошная, прерывистая, спорадическая, островная (в границах

исследования отсутствует). Каждый тип, в свою очередь, разделен в зависимости от процента содержания видимого льда в толще грунтов на глубине 10-20 м на три группы: регионы высокого содержания льда (более 20%), среднего содержания льда (10-20%) и низкого содержания льда (менее 10%) для равнинных территорий. Для горных территорий выделено 2 группы: от среднего до высокого (более 10%), низкое (менее 10%).

В результате имеется 7 вариантов мерзлотных условий: где 1-й – наименее опасные условия, а 7-й – наиболее опасные условия (баллы приведены в табл. 1 на пересечении строки и столбца).

Таблица 1. Матричная легенда карты мерзлоты и условий залегания грунтового льда (Морозова и др., 2020)

Table 1. Matrix explication of the permafrost map and anchor ice conditions (Morozova et al., 2020)

Распространение многолетне- мерзлых пород (% площади территории)	Содержание льда в грунтах (объем содержания льда в грунтах на глубине 10-20 м)				
	Низменности, возвышенности, внутригорные и межгорные понижения, характеризующиеся мощной толщей осадочных пород (>5-10 м)			Горы, возвышенности, гребни и плато, перекрытые толщей осадочных пород мощностью 5-10 м с выходами коренной породы	
	высокое (>20)	среднее (10-20)	низкое (0-10)	от среднего до высокого (>10)	низкое (0-10)
Сплошная (90-100)	6	5	5	7	7
Прерывистая (50-90)	4	3	3	Отсутствует	Отсутствует
Спорадическая (10-50)	2	1	1	Отсутствует	Отсутствует

Был выполнен пространственный анализ трех слоев векторных данных, и их запись как нового объекта, атрибутивная информация которого унаследована из исходных слоев. Таким образом, после завершения операции был создан класс пространственных данных, в котором для каждой точки исследуемой территории известны (в баллах):

- оценка опасности экзогенного процесса;
- оценка влияния состояния многолетнемерзлых пород на вероятность активизации опасных экзогенных процессов;
- оценка вероятности активизации опасных экзогенных процессов при глобальном потеплении.

Далее для каждой точки пространства было выполнено суммирование трех вышеперечисленных оценок. Значение суммы баллов (изменяется от 4 до 15 с шагом 1) является результирующим показателем оценки, отражающим опасность активизации экзогенных процессов при потеплении климата. На карте-схеме (рис. 1) этот показатель был разделен на три группы по степени опасности: высокая (12-15 баллов), средняя (8-11 баллов) и низкая (4-7 баллов); и на две группы по геоморфологическим условиям: равнины и низменности, горы.

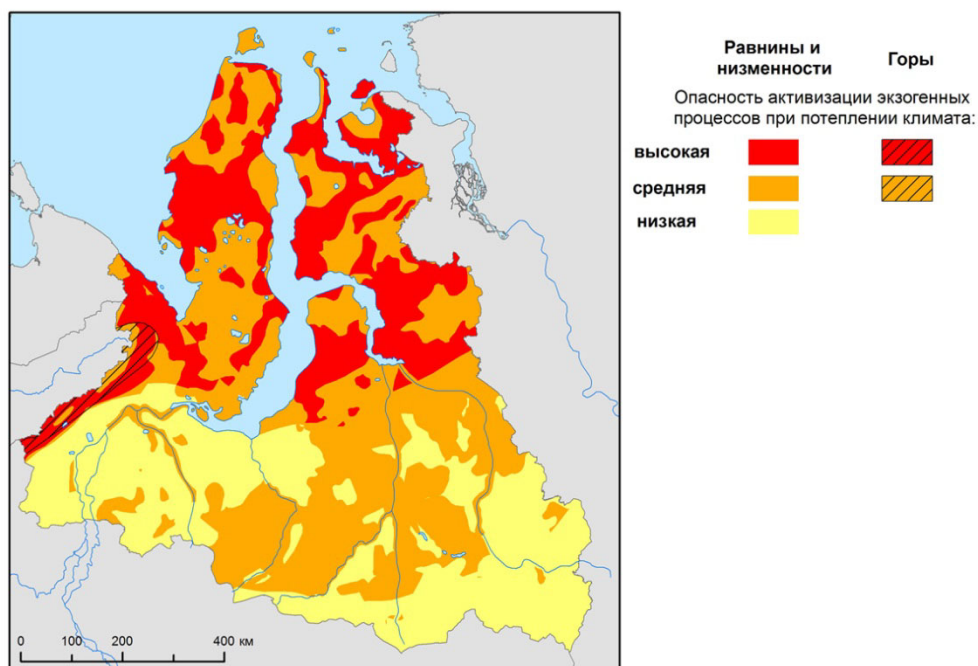


Рисунок 1. Карта-схема опасности активизации экзогенных процессов при потеплении климата на территории ЯНАО (Морозова и др., 2020)

Picture 1. Schematic map of activating exogenous processes danger during climate warming on the territory of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (Morozova et al., 2020)

Изменение климата и влияние происходящих при этом процессов на инфраструктуру и социально-экономическую сферу в регионах АЗРФ является важным фактором, который необходимо учитывать при принятии мер по защите промышленных и социальных объектов от последствий природных явлений и катастроф. В соответствии с прогнозами Программы оценки воздействия на климат Арктики (Arctic Climate Impact Assessment – ACIA) к 2030 г. уменьшение общей площади мерзлоты в северном полушарии составит от 10 до 18%, к 2050 г. – от 15 до 25, а к 2080 г. – от 25 до 50%. Изменения глубины сезонного протаивания в ближайшие три десятилетия оцениваются как относительно небольшие. Но к середине XXI в. этот показатель может увеличиться на 15-25% и более, а к 2080 г. – на 30-50% (Павленко, Глухарева, 2010).

По мнению специалистов, продолжающееся глобальное потепление климата увеличит риски, связанные с несущей способностью многолетней мерзлоты и соответственно с оседанием фундаментов инфраструктурных и производственных объектов нефтегазодобывающей промышленности, авариями на трубопроводах (Бабурин и др., 2016; Лихачёва и др., 2020). В условиях прогнозируемого увеличения годового и сезонного стока многих российских рек и изменения их ледового режима нагрузки на подводные трубопроводы значительно возрастут, увеличится вероятность аварийных повреждений трубопроводов (вплоть до их разрывов) с разливами нефти и выбросами газа,

влекущими значительные экологические катастрофы. Потепление климата и медленный подъем уровня Мирового океана приведут к увеличению проникновения морских вод в устья рек, подтоплению приморской зоны на расстоянии 15-30 км и активизации процессов абразии (Лихачёва и др., 2020).

Локальный уровень. Геологическая среда городской инфраструктуры в криогенной зоне является чрезвычайно чувствительной и неустойчивой к техногенным воздействиям и за всю историю развития претерпевает серьезные нарушения, которые выражаются в существенном изменении температурно-влажностных условий промерзания и оттаивания, увеличении глубины залегания кровли многолетнемерзлых пород. Формирование и развитие любой из городских территорий всегда связано со значительными трансформациями эколого-геологической среды. Плотная застройка, активное строительство дорог и коммуникаций приводят к изменениям рельефа, свойств грунтов, гидрогеологического и геохимического режимов, скорости рельефообразующих процессов (Черногаева и др., 2017). К наиболее распространенным геоэкологическим проблемам на городских территориях АЗРФ можно отнести деформации зданий, сооружений и коммуникаций, утилизацию отходов, загрязнение территории, воздуха и водоемов. В Интернете обеспокоенные граждане и специалисты отмечают кроме этих общих проблем следующие «индивидуальные» городские проблемы (Черногаева и др., 2017; Павленко, Глухарева, 2010; Лихачёва и др., 2020):

- утилизация атомных судов, загрязнение водных объектов предприятиями ЖКХ (Мурманск);
- крайне неблагоприятные инженерно-геологические условия (Архангельск);
- загрязнение атмосферы, нарушение и эрозия почв, недостаточная очистка сточных вод (Воркута);
- техногенные нарушения грунтов на 20-50% площади (Новый Уренгой);
- техногенное изменение теплового баланса грунтов, техногенное изменение стока поверхностных вод, локальное химическое загрязнение ландшафтов (Салехард);
- проблемы утилизации отходов, нарушение естественного режима подземных вод в результате хозяйственной деятельности, химическое загрязнение компонентов окружающей среды в результате экологической катастрофы 2020 года (Норильск) (Эксперт Института мерзлотоведения..., 2020);
- повышенное содержание загрязняющих веществ в грунтах, связанные с бурением скважин, строительством и эксплуатацией дорог (Харасавэй);
- отсутствие необходимого количества очистных сооружений, предприятий по переработке отходов и ливневых канализаций. Практически все водозаборы не имеют зон санитарной охраны, соответствующих нормам (Дудинка);
- проблемы с водоснабжением, высокий уровень износа водонесущих коммуникаций (Диксон);

- загрязнение акватории бухты, износ сетей тепло- и водоснабжения, что приводит к потерям тепла и утечкам воды (Тикси);
- повышенная уязвимость наземных экосистем (Ямбург);
- активизация эрозионных процессов в природном парке «Самаровский Утёс» и биатлонной трассы, вызванные масштабной застройкой (Ханты-Мансийск);
- загрязнение водных объектов (Нефтеюганск);
- жилищный фонд и очистные сооружения с неблагоприятными экологическими характеристиками (Хатанга);
- загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, отсутствие предприятий по переработке отходов, нарушение почвенно-растительного слоя (Певек);
- существование локальных очагов нарушения земель и загрязнения водных объектов (Анадырь).

В Арктической зоне РФ значительная часть городов относится к категории ресурсных, связанных с разработкой полезных ископаемых и их обработкой. Наличие полезного компонента определяется, прежде всего, литолого-структурными особенностями местности, что отражается и в геоморфологических (инженерных и экологических) ее свойствах. Добыча полезных ископаемых нередко превращает местность в зону экологического бедствия, т.к. интенсивность влияния хозяйственной деятельности в горнопромышленных районах значительно превосходит скорости развития природных рельефообразующих процессов.

Большое значение приобретает разработка мероприятий, направленных на снижение активности подтопления и заболачивания, карстовых, карстово-суффозионных, оползневых, эрозионных процессов, основанных на изучении гидрогеодинамического режима и контроля за уровнем подземных вод.

Заключение

Выполнена эколого-геоморфологическая оценка АЗРФ на трех масштабно-географических уровнях. На федеральном уровне анализ был нацелен на выявление различных эколого-геоморфологических ситуаций, возникающих в результате развития природного комплекса и возможного развития этих ситуаций при изменении климата. На региональном уровне в основу оценки положена концептуальная модель взаимодействия эколого-геоморфологических ситуаций и социально-экономической привлекательности региона. На локальном (местном) уровне эколого-геоморфологический анализ городских территорий был направлен на разработку моделей управления земельными ресурсами.

Проведенный эколого-геоморфологический анализ АЗРФ позволил сделать следующие выводы:

1. Анализ комплекса приоритетных территориальных проблем, определяющихся спецификой, интенсивностью, длительностью хозяйственного освоения

и зонально-региональными особенностями геологической среды каждого конкретного экономического района позволяет перейти к решению проблемы оптимизации взаимодействия общества и геологической среды – снижению ущербобобразования и ущербобобразующего действия геологических процессов.

2. Исследование процессов изменения мерзлотных условий тундровых ландшафтов при нарушении естественных покровов и установление путей их восстановления – актуальная задача. Уменьшение роли основных ущербобобразующих процессов (оттаивание, промерзание, термокарст, пучение, солифлюкция и др.) связано с сохранением мерзлого состояния грунтов, предотвращением воздействий производственной деятельности на мерзлотные условия.

3. Современным инструментом географического исследования являются геоинформационные технологии. Среди множества решаемых с их помощью научных и прикладных задач можно выделить геоморфологические приложения, основанные на анализе рельефообразующих факторов или рассматривающие рельеф как фактор среды.

4. При решении управленческих природопользовательских задач особое значение имеет разработка методов моделирования и прогнозирования экологических изменений, а также их картографирования.

5. Накопленные материалы, эколого-геоморфологические карты, созданные в Институте географии РАН и в Институте водных проблем РАН, результаты их качественного и количественного анализа могут стать базой для разработки планов рационального хозяйственного использования исследуемой территории.

Работа выполнена по теме Государственного задания 0148-2019-0005 (AAAA-A19-119021990091-4).

Список литературы

Бабурин, В.А., Бадина, С.В., Горячко, М.Д., Земцов, С.П. (2016) Природные факторы развития урбанизированных пространств Арктической зоны России, *Вопросы географии, География полярных регионов*, сб. 142, М., Кодекс, с. 47-56.

Герасимов, И.П. (1996) *Конструктивная география. Избранные труды*, М., Наука, 144 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год (2017) М., Росгидромет, 70 с.

Козлова, А.Е., Локшин, Г.П., Чеснокова И.В. (2006) *Карта районирования территории России по степени экстремальности развития эколого-геоморфологических ситуаций, масштаб 1:9 000 000*, под ред. Э.А. Лихачевой, Д.А. Тимофеева, А.В. Кошкарева, М., ООО «ДиЭмБи», 1 к., 2 доп. карты.

Карта современной динамики рельефа Северной Евразии (в пределах России и сопредельных стран), масштаб 1:5 000 000 (2003) Под ред. В.М. Котлякова, С.К. Горелова, А.А. Тимофеева, М., ЭКОР, 4 л.

Кошкарёв, А.В. (2017) *Очерк истории российской геоинформатики. От карты прошлого – к карте будущего*, отв. ред. С.В. Пьянков, т. 2, Пермь, ПГНИУ, с. 119-129.

Лихачёва, Э.А., Кошкарёв, А.В., Морозова, А.В., Некрасова, Л.А., Чеснокова, И.В., Черногаева, Г.М. (2020) *Эколого-геоморфологический анализ Арктической зоны Российской Федерации*, отв. ред. Э.А. Лихачёва, А.В. Кошкарёв, М., Медиа-ПРЕСС, 120 с.

Лихачёва, Э.А., Тимофеев, Д.А. (2004) *Экологическая геоморфология: Словарь-справочник*, М., Медиа-ПРЕСС, 337 с.

Морозова, А.В., Лихачева, Э.А., Чеснокова, И.В., Кошкарёв, А.В. (2020) Оценка и прогноз активизации опасных экзогенных процессов при изменении климата на основе анализа тематических карт, *Геодезия и картография*, № 12, с. 11-20, doi: 10.22389/0016-7126-2020-966-12-11-20.

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2015 год (2016) М., Росгидромет, 223 с.

Павленко, В.И., Глухарева, Е.К. (2010) Влияние изменений окружающей среды на экономическое развитие регионов Российской Арктики, *Проблемы прогнозирования*, № 2, с. 68-77.

Черногаева, Г.М. и др. (2017) Арктическая зона Российской Федерации, в кн.: *Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2016 г.*, М., Росгидромет, с.175-198.

Чичагов, В.П., Кошкарёв, А.В. (2013) Отечественное геоморфологическое картографирование, в сб. «*Геоморфология и картография*», Материалы XXXIII Пленума геоморф. ком. РАН, Саратов, Изд-во Саратовского университета, с. 10-15.

Эколого-геоморфологические ситуации в субъектах Российской Федерации. Масштаб 1:9 000 000 (2002) Авторы: А.Е. Козлова, И.А. Мерзлякова, И.В. Чеснокова, Д.А. Тимофеев, науч. редакторы: Э.А. Лихачева, А.В. Кошкарёв, ред. карты: Д.Г. Фаттахова, М., ООО «ДиЭмБи», 1 л.

Эксперт Института мерзлотоведения: катастрофа в Норильске еще раз показала, что строительство в условиях вечной мерзлоты – процедура довольно сложная, электронный ресурс, URL: <https://yakutia.info/article/195263> (дата обращения 20.08.2020).

Brown, J. et al. (1997) *Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions*, Reston, VA, US Geological Survey, available at: <https://nsidc.org/data/ggd318> (accessed 9 April 2021).

References

Baburin, V.A., Badina, S.V., Goryachko, M.D., Zemczov, S.P. (2016) Prirodny`e faktory` razvitiya urbanizirovanny`x prostranstv Arkticheskoy zony` Rossii [Natural factors of urbanized spaces development of the Russian Arctic zone],

Voprosy` geografii: Geografiya polyarnykh regionov, Sb. 142 [Questions of geography. Collection, no. 142: Geography of polar regions], Kodeks, Moscow, Russia, pp. 47-56.

Gerasimov, I.P. (1996) *Konstruktivnaya geografiya: Izbr. tr.* [Constructive Geography: Selected works], Nauka, Moscow, Russia, 144 p.

Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2016 god [Report on climate features in the Russian Federation for 2016] (2017) Rosgidromet, Moscow, Russia, 70 p.

Kozlova, A.E., Lokshin, G.P., Chesnokova I.V. (2006) *Karta rajonirovaniya territorii Rossii po stepeni ekstremal'nosti razvitiya ekologo-geomorfologicheskikh situacij*, 1:9 000 000 [Map of zoning the territory of Russia to degree of extreme ecological-geomorphologic situations. Scale 1:9 000 000], in E.A. Lihacheva, D.A. Timofeev, A.V. Koshkarev (eds.), ООО «DiEmBi», Moscow, Russia, 1 map, 2 add. maps.

Karta sovremennoj dinamiki rel'efa Severnoj Evrazii (v predelakh Rossii i sopredel'nyh stran). 1:5 000 000 [Map of modern dynamics of the relief of Northern Eurasia (within Russia and neighboring countries)] (2003) In V.M. Kotlyakov, S.K. Gorelov, A.A. Timofeev, EKOR, Moscow, Russia, 4 sheets.

Koshkarev, A.V. (2017) *Ocherk istorii rossijskoj geoinformatiki* [Essay on the History of Russian Geoinformatics], *Ot karty proshlogo – k karte budushchego* [From the map of the past –to the map of the future], in S.V. P'yankov (ed.), vol. 2, PGNIU, Perm, Russia, pp. 119-129.

Lihachyova, E.A., Koshkarev, A.V., Morozova, A.V., Nekrasova, L.A., Chesnokova, I.V., Chernogaeva, G.M. (2020) *Ekologo-geomorfologicheskij analiz Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii* [Ecologo-geomorphologic analysis of the Arctic zone of the Russian Federation], in E.A. Lihachyova, A.V. Koshkarev (eds.), Media-PRESS, Moscow, Russia, 120 p.

Lihachyova, E.A., Timofeev, D.A. (2004) *Ekologicheskaya geomorfologiya: Slovar'-spravochnik* [Ecological Geomorphology: Dictionary-Reference], Media-PRESS, Moscow, Russia, 337 p.

Morozova, A.V., Lihacheva, E.A., Chesnokova, I.V., Koshkarev, A.V. (2020) *Ocenka i prognoz aktivizacii opasnykh ekzogennykh processov pri izmenenii klimata na osnove analiza tematicheskikh kart* [Assessment and forecast of dangerous exogenous processes activation during climate change based on the analysis of thematic maps data], *Geodeziya i kartografiya*, no. 12, pp. 11-20, doi: 10.22389/0016-7126-2020-966-12-11-20.

Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii za 2015 god [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2015]. (2016) Rosgidromet, Moscow, Russia, 223 p.

Pavlenko, V.I., Gluhareva, E.K. 2010. *Vliyanie izmenenij okruzhayushchej sredy na ekonomicheskoe razvitie regionov Rossijskoj Arktiki* [Impact of

environmental changes on the economic development of the regions of the Russian Arctic], *Problemy prognozirovaniya*, no. 2, pp. 68-77.

Chernogayeva, G.M. et al. (2017) Arkticheskaya zona Rossijskoj Federacii [Arctic zone of the Russian Federation] *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii za 2016 g.* [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2016], Rosgidromet, Moscow, Russia, pp.175-198.

Chichagov, V.P., Koshkarev, A.V. (2013) Otechestvennoe geomorfologicheskoe kartografirovanie [Domestic geomorphological mapping], «*Geomorfologiya i kartografiya*», Materialy XXXII Plenuma geomorf. kom. RAN [«Geomorphology and Cartography», Proc. of the XXXIII Plenum geomorph. com. RAS.], Izd-vo Saratovskogo universiteta, Saratov, Russia, pp. 10-15.

Ekologo-geomorfologicheskie situacii v sub"ektah Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:9 000 000 [Ecological and geomorphological situations in the constituent entities of the Russian Federation. Scale 1: 9 000 000] A.E. Kozlova, I.A. Merzlyakova, I.V. Chesnokova, D.A. Timofeev, nauch. redaktory: E.A. Lihacheva, A.V. Koshkarev, red. karty: D.G. Fattahova, M. (2002) OOO «DiEmBi», Moscow, Russia, 1 sheet.

Expert of the Institute of Permafrost Studies: the disaster in Norilsk has once again shown that construction in permafrost conditions is a rather complicated procedure [Expert of the Institute of Permafrost Studies: the disaster in Norilsk has once again shown that construction in permafrost conditions is a rather complicated procedure]. URL: <https://yakutia.info/article/195263> (accessed 20.08.2020).

Brown, J. et al. (1997) *Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions*, Reston, VA, US Geological Survey, available at: <https://nsidc.org/data/ggd318> (accessed 09.04 2021).

Статья поступила в редакцию (Received): 26.04.2020.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 20.08.2021.

Принята к публикации (Accepted): 11.10.2021.

Для цитирования / For citation:

Кошкарёв, А.В., Лихачёва, Э.А., Морозова, А.В., Некрасова, Л.А., Черногаева, Г.М., Чеснокова, И.В. (2021) Некоторые результаты эколого-геоморфологических исследований Арктической зоны Российской Федерации, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXII, № 3-4, с. 86-99, doi: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-86-99.

Koshkarev, A.V., Likhacheva, E.A., Morozova, A.V., Nekrasova, L.A., Chernogayeva, G.M., Chesnokova I.V. (2021) Some results of ecological and geomorphological studies of the Russian Federation Arctic zone, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXII, no. 3-4, pp. 86-99, doi: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-86-99.