

СТАТЬИ

УДК 504.06:551.4

**РИСКИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СЕВЕРЕ (АРКТИКЕ)**

<sup>1</sup>Ткачев Б.П., <sup>2</sup>Кунин С.А.

<sup>1</sup>Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, e-mail: btkachev@mail.ru;

<sup>2</sup>Тазовская средняя общеобразовательная школа, п. Тазовский, e-mail: kunin\_taz@mail.ru

Статья посвящена множественной оценке рисков геоморфологических процессов на Севере (Арктике). Речные бассейны становятся наиболее важным объектом изучения Арктики, а геоморфологические риски наиболее обоснованно оценивать в рамках речных систем. В статье анализируются особенности береговых деформации и режима твердого стока рек Арктического бассейна. Установлено уменьшение размыва берегов рек севера Западной Сибири, при одновременном увеличении стока твердых наносов и мутности рек. Быстрое таяние вечной мерзлоты в Арктике в результате потепления также выступает как фактор риска, таяние приводит к рискам за счет интенсивно протекающих эрозионных процессов (термокарста, абразии, суффозии и др.), размыва берегов, разрушения мостов, обмеления рек, просадки бугров пучения. Таяние обусловлено как снижением температуры зимой, так и увеличением числа жидких осадков летом. Интенсивность таяния в населенных пунктах выше, из-за их обогревающего воздействия. Полевое изучение термокарстовых озер подтвердило идеи А.А. Земцова о сложении котловин и позволило дополнить её фактами вращения воды в озерах, что объясняет округлую форму котловин. Разработанная Б.П. Ткачевым гипотеза преобразования котловин термокарстовых озер и гидродинамическая гипотеза образования устьевых воронок объясняет риск геоморфологических процессов в устьевых зонах рек севера Западной Сибири. Особенно сложные геоморфологические условия сложились в Тазовской губе, где судоходный форватер заполняется твердыми взвешенными частицами рек и оврагов. С 2015 г. навигация в Тазовской губе затруднена. В результате сформулирован вывод о том, что бассейны великих сибирских рек являются «тыловой зоной» Арктики, а геоморфологические процессы носят интенсивный характер, что необходимо учитывать в хозяйственной освоении Севера (Арктики).

**Ключевые слова:** Арктика, риски, бассейн, устье реки, вечная мерзлота, термокарст

**RISKS OF GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN THE NORTH (ARCTIC)**

<sup>1</sup>Tkachev B.P., <sup>2</sup>Kunin S.A.

<sup>1</sup>Yugra State University, Khanty-Mansiysk, e-mail: btkachev@mail.ru;

<sup>2</sup>Tazovsky Secondary General Education School, Tazovsky, e-mail: kunin\_taz@mail.ru

The article is devoted to multiple risk assessment of geomorphological processes in the North (Arctic). River basins are becoming the most important object for studying the Arctic, and geomorphological risks are most reasonably assessed within the framework of river systems. The article analyzes the features of coastal deformation and solid flow regime of rivers in the Arctic basin. A decrease in the erosion of river banks in the North of Western Siberia, while increasing the flow of solid sediments and turbidity of rivers, was found. Rapid melting of permafrost in the Arctic as a result of warming also acts as a risk factor. melting leads to risks due to intensive erosion processes (thermokarst, abrasion, suffusion, etc.), erosion of banks, destruction of bridges, shallowing of rivers, subsidence of heave hills. Melting is caused by both a decrease in temperature in winter and an increase in the number of liquid precipitation in summer. The intensity of melting in localities is higher, due to their warming effect. Field study of thermokarst lakes confirmed A. A.'s ideas. Zemtsova about the addition of basins and allowed to Supplement it with the facts of rotation of water in lakes, which explains the rounded shape of the basins. The hypothesis of transformation of the basins of thermokarst lakes developed by B. Tkachev and the hydrodynamic hypothesis of formation of estuaries explains the risk of geomorphological processes in the estuaries of rivers in the North of Western Siberia. Particularly difficult geomorphological conditions have developed in the Taz Bay, where the navigable waterway is filled with solid suspended particles of rivers and ravines. Since 2015, navigation in the Taz Bay is difficult. As a result, the conclusion is formulated that the basins of the great Siberian rivers are the «rear zone» of the Arctic, and geomorphological processes are intensive, which must be taken into account in the economic development of the North (Arctic).

**Keywords:** Arctic, risks, basin, river mouth, permafrost, thermokarst

Зачастую понятие безопасность считается обратным риску. Оценка безопасности подразумевает характеристику риска и наоборот.

«В конце XX века в РФ началась смена парадигм безопасности от детерминированной (обоснованной на системе постоянных безопасных порогов, как правило, предельно допустимых концентраций, доз, уровней воздействия) к вероятностной, основанной

на оценке множества рисков. Смена парадигм безопасности особенно ярко проявляется в условиях Северных и Арктических регионов России» [1, с. 441].

«Под геоморфологической безопасностью следует понимать состояние социально-геоморфологических систем, отражающее степень эффективности их функционирования (в частности, природопользования) с точки зрения свойств рельефа» [2, с. 74].

Примерами детерминированной парадигмы служит разработанная методика комплексной целевой оценки рельефа, которая основывается на зависимости геоморфологических процессов от условий его развития [3], а также методика оценки комплексной геоморфологической безопасности территории методом логарифмического масштабирования [4].

Эти методики представляют интерес в условиях отсутствия информации о распространении и величине геоморфологических процессов. В тех случаях, когда мы имеем возможность провести наблюдения, объективность оценки геоморфологической безопасности территории возрастает. С учетом специфики Севера и Арктики общей методической базой статьи может стать классификация опасных геоморфологических процессов, представленная в работе С.Б. Кузьмина [5]. Примеры региональных исследований по геоморфологическим рискам приведены в статьях В.И. Готванского, Е.В. Лебедевой [6] и Э.А. Лихачевой и др. [7].

Однако оценка множества рисков геоморфологических процессов применительно к Северу и Арктике осталась вне сферы современных исследований. Именно в этом авторы видят актуальность статьи.

Цель работы: выявление множества рисков геоморфологических процессов Арктического бассейна. Достижение цели опирается на решение следующих задач:

1. Анализ особенностей береговых деформаций и режима твердого стока рек Арктического бассейна.
2. Быстрое таяние вечной мерзлоты в Арктике как фактор риска.
3. Гидродинамическая гипотеза преобразования котловин термокарстовых озер.
4. Особенности риска геоморфологических процессов в устьевых зонах великих рек Сибири.

*Особенности береговых деформаций  
и режима твердого стока рек  
Арктического бассейна*

Бассейн реки включает в себя систему геоморфологических процессов, продуцирующую под действием текущих вод различные формы глубинной и боковой эрозии. Следует выделить ведущие географические факторы, определяющие береговые деформации: особенности происхождения предельно равнинного рельефа Западно-Сибирской равнины, центростремительный тип речной сети центральной части Обь-Иртышского бассейна, а также антропогенные изменения русел ряда рек.

Реки Обь-Иртышского бассейна из-за предельно равнинного рельефа имеют низкие скорости движения воды (ряд из них стали рекордсменами в мире по коэффициенту меандрирования). Поэтому для региона характерны интенсивные береговые деформации и высокая мутность рек. Объем стока р. Обь около 400 км<sup>3</sup>/год и уступает Енисею и Лене, твердый сток составляет 6,6 тыс. т с км<sup>2</sup> в год, превосходя Енисей.

На некоторых участках р. Оби, например, размыв берегов достигает 23–25 м/год [8] (рис. 1), а мутность р. Оби в среднем значительно превосходит мутность Енисея и Лены (табл. 1). Мутность р. Оби падает к низовьям из-за уменьшения скорости воды в русле.



Рис. 1. Размыв берега Оби у с. Селяррово в 2007 г.

Режим твердого стока Арктического бассейна представлен в табл. 1.

По данным А.А. Земцова наносы, переносимые Обью из областей повышенной эрозионной деятельности, аккумулируются в ее среднем и нижнем течении. Так, в среднем течении (от р. Томи до р. Иртыш), Обь отлагает около 13,2 млн т взвешенных наносов за год, или около 8,8 тыс. т на 1 км русла реки [10]. Для средней Оби и нижнего Иртыша характерна самая высокая транзитность взвешенных и влекомых наносов.

*Быстрое таяние вечной мерзлоты  
в Арктике как фактор риска*

«При сохранении наблюдаемого с 1980 г. тренда на потепление климата Арктики будут упрощаться ледовые условия. Однако возрастут риски, связанные с усилением ветроволновой активности, с ростом уровня моря и оттаиванием вечномерзлых пород. Вследствие сложения ряда факторов усиление разрушения льдистых и рыхлых берегов» [11, с. 17].

Ветроволновая абразия становится одним из значимых факторов разрушения берегов крупных рек, портовых сооружений, причалов и защитных сооружений, строящихся в Арктической зоне [12].

**Таблица 1**

Характеристики основных рек бассейна Северного Ледовитого океана [9]

Река/пункт	Период наблюдений, лет	Модуль стока взвешенных наносов, тыс. т с км <sup>2</sup> в год	Площадь бассейна, тыс. км <sup>2</sup>	Модуль жидкого стока, л/с с км <sup>2</sup>
Обь/Салехард	29	6,6	2432	5,1
Обь/Белогорье	32	12	2165	4,8
Обь/Колпашево	28	33	486	8,6
Иртыш/Тобольск	38	10	969	2,1
Иртыш/Омск	21	14	321	2,9
Таз/Сидоровск	5	6,6	100	11
Пур/Самбург	25	7,2	95	8,9
Енисей/Игарка	10	4,9	2440	7,2
Енисей/Енисейск	20	9,2	1400	5,5
Лена/Кюсюр	11	9,0	2430	7,0
Лена/Табага	19	9,8	897	7,8
Маккензи	–	25	1770	–

Примечание: модули рассчитывались как среднемноголетние.

За последние десятилетия число дней с сильными морозами (–30 °С и ниже) сократилось. Сильные морозы устанавливаются лишь на короткий интервал времени (до 3–5 суток), тогда как несколько десятилетий назад, они продолжались до месяца и более. В результате не происходит накопление холода, поверхностный слой мерзлоты тает (табл. 2). Наблюдения проводились в п. Тазовский Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО).

**Таблица 2**

Слой оттаявшей мерзлоты и средняя температура зимы

Год	Средняя температура зимы, °С	Слой оттаявшей мерзлоты, см
2014	–28,6	140
2015	–24,4	160
2016	–16,1	200
2017	–17,6	240

Изучение таяния вечной мерзлоты в тундровой зоне проводилось в урочище Саякаптан (окрестности п. Тазовский). В основу обеих таблиц легли наблюдения метеостанции аэропорта Тазовский. Средние температуры зимы оценивались по температурам трех зимних месяцев. Было определено, что интенсивность таяния вечной мерзлоты зависит как от температуры зимы, так и от количества выпавших летних осадков (табл. 3).

В таблице указаны средние летние осадки за июнь, июль и август. В эти месяцы интенсивно тает верхний слой мерзлоты в тундре. Величина оттаявшего слоя

вечной мерзлоты замерялась проколами грунта металлическим щупом. Для получения репрезентативного результата полученные значения осреднялись. Таким образом, в тундре в отличие от поселка не наблюдается опасная деградация вечной мерзлоты, каждую зиму многолетняя мерзлота полностью восстанавливается.

**Таблица 3**

Зависимость таяния вечной мерзлоты от количества выпавших осадков

Год	Количество выпавших осадков, мм	Слой оттаявшей мерзлоты, см
2014	188	73
2015	208	84
2016	84	48
2017	283	88

«В ЯНАО идет интенсивная просадка бугров пучения. На основе натуральных наблюдений удалось определить скорость просадок, составляющую 20–25 см в год» [11, с. 18]. Наблюдения за буграми пучения в Тазовском с 1999 г. указывают на то, что бугры пучения интенсивно деградируют в результате потепления.

«Обычно высота таких бугров достигает 2–5 м при ширине основания до 20 м. Их генезис связан с миграцией влаги в процессе промерзания из окружающих отложений. В ряде случаев их образование обусловлено подтаиванием влаги из нижележащего водоносного горизонта» [10, с. 200].

«Таяние вечной мерзлоты, связанное с потеплением климата, приводит к стремительной водной эрозии (термокарсту).

Видеосюжеты местных СМИ, заснятых в ЯНАО, фиксируют значительные разрушения береговых линий рек и речушек, вызванных стремительной водной эрозией. Быстро протекающие эрозионные процессы приводят к разрушению мостов через северные реки. Сказываются также: слабая гидрометеорологическая изученность, сложные инженерно-геологические условия (мерзлота и др.), ошибки при проектировании и строительстве» [11, с. 17–18].

*Гидродинамическая гипотеза преобразования котловин термокарстовых озер*

«Большинство озерных котловин на севере Западно-Сибирской равнины – термокарстовые. Их образование обусловлено таянием пластов и линз льда в многолетнемерзлых грунтах. Такие озера имеют обрывистые берега, сложенные торфом и суглинками со значительной льдистостью» [10, с. 231].

На момент образования формы термокарстовых озер различаются. По мере развития котловины приобретают округлую форму. Было сформулировано предположение, что на севере Западной Сибири округлая форма термокарстовых озер формируется за счет вращением воды. В термокарстовых озерах из-за нагрева поверхностного слоя воды возникает температурная стратификация, которая приводит к круговому движению воды против часовой стрелки.

Гидродинамическая гипотеза, предложенная Б.П. Ткачевым [13], была подтверждена в ходе полевых измерений вращения воды в термокарстовых озерах ЯНАО (рис. 2). Это вращение не зависит от направления ветра и размеров озер. Подобные исследования проводились на 9 озерах с круглой конфигурацией. Гипотеза полностью подтвердилась. Сохранение отрицательных температур на дне больших термокарстовых озер является следствием низкой теплопроводности воды. Примером сохранения ледяных линз на своем дне является озеро Самотлор и ряд других озер севера Западной Сибири.



Рис. 2. Поплавок с указательной стрелкой соосно соединенной с подводным флюгером

Таким образом, определение зависимости таяния мерзлоты от средней зимней температуры и от количества выпавших осадков летом, а также полевые исследования в устьевой зоне Иртыша и в термокарстовых озерах ЯНАО позволили количественно оценить величину геоморфологических процессов, в результате объективность оценки геоморфологической безопасности территории возрастает.

*Особенности риска геоморфологических процессов в устьевых зонах великих рек Сибири*

Геоморфологические условия безопасного судоходства определяются не только мелководьем Северного морского пути в Арктике, но и быстрыми геоморфологическими изменениями устьевой зоны рек.

«В последнее время во всем мире повысился интерес к изучению специфических природных объектов, занимающих особое место на земной поверхности, – устьевых областей рек» [11, с. 18].

Обь-Иртышский бассейн имеет уникальное природное образование – губу. Навигационный период в ней достигает 2,5 месяца.

В Обской губе из-за дноуглубительных работ при разработке проекта «Ямал СПГ» сформировалась песчаной отмели. Современное состояние песчаной отмели, перекрывающей выход из Обской губы стабильно [14].

«Происходят изменения судового хода Оби, Иртыша, Таза, в результате чего проводка судов в устьевой области осложнилась. В связи с этим изучение эрозионно-аккумулятивных процессов, формирующих природный облик устьевой зоны рек, приобретает высокую значимость» [13, с. 51].

Таким образом, устьевые зоны великих рек Оби и Иртыша находятся в особых условиях, когда происходят быстрые геоморфологические изменения. С одной стороны, увеличивается срок навигации, с другой стороны, в результате активной водной эрозии с берегов большое количество взвешенных частиц заполняет устьевые участки рек, глубоководные воронки гидродинамического происхождения забиваются песком и реки мелеют, что резко ухудшает судоходство. Наиболее напряженная ситуация сформировалась в Тазовской губе, где необходимы работы по углублению форватера. Возникновение и развитие самих глубоководных воронок в устьевых участках рек объясняет гидродинамическая гипотеза.

**Заключение**

Геоморфологические риски наиболее обоснованно оценивать в рамках речных

бассейнов. Бассейны сибирских рек являются «тыловой зоной» Арктики. Основными рисками, рассчитываемыми в рамках бассейнов являются наводнения, приводящие к значительным ущербам и риски низких уровней воды в межень, приводящие к значительным затратам, а также глубинная и боковая эрозия.

В результате изменения климата в Арктике наблюдается интенсивная просадка бугров пучения, опасная деградация вечной мерзлоты, приводящая к стремительной водной эрозии, росту обводненности и заозеренности территории, преобразованию котловин термокарстовых озер. Множественная оценка рисков геоморфологических процессов повышает объективность результатов и играет значительную роль хозяйственного развития Севера (Арктики).

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-13-00423.*

#### Список литературы

1. Ткачев Б.П. Природные опасности: теория, методы и технологии. Природные опасности: связь науки и практики: материалы II Межд. науч.-прак. конф. (Саранск, 23–25 апреля 2015 г.) / Отв. ред. С.М. Вдовин. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. С. 441–446.
2. Большов С.И., Бредихин А.В., Еременко Е.А. Комплексная оценка геоморфологической безопасности России для целей хозяйственного освоения // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Круглый стол. 17 сентября 2015 г. Доклады и выступления. М.: ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России, 2015. С. 74–85.
3. Большов С.И., Бредихин А.В., Еременко Е.А. Основы концепции геоморфологической безопасности: материалы XXXIV Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Волгоград, 2014. С. 19–25.
4. Битюкова В.Р., Кириллов П.Л. Методы комплексной оценки региональных различий экологической напряженности в России // Региональные исследования. 2011. № 1. С. 56–69.
5. Кузьмин С.Б. Опасные геоморфологические процессы и риск природопользования. Новосибирск: ГЕО, 2009. 195 с.
6. Готванский В.И., Лебедева Е.В. Влияние природных и антропогенных факторов на напряженность геоморфологических процессов на Дальнем Востоке. Геоморфология. 2010. № 2. С. 26–36.
7. Лихачева Э.А., Шварев С.В., Аникина Н.В. Геоморфологическая оценка территориальных ресурсов Новой Москвы // Геоморфология. 2015. № 1. С. 77–87.
8. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Крутовский А.О., Каменсков Ю.И. Русловые и пойменные процессы рек Сибири: учебное пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 182 с.
9. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казанского университета, 1984. 263 с.
10. Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (Северная и центральная части). Томск. Изд-во ТГУ, 1976. 344 с.
11. Ткачев Б.П. Гидрометеорологическое обеспечение устойчивого развития Севера (Арктики). Безопасный Север – чистая Арктика: материалы I Всероссийской научно-практической конференции (г. Сургут, 26 октября 2018 г.). Сургутский гос. ун-т. Сургут: ООО «Печатный мир г. Сургут», 2018. С. 14–25.
12. Фролов А.В. Гидрометеорологическое обеспечение морской деятельности в Арктике: новые технологии // Российские полярные исследования. 2014. № 4 (18). С. 3–5.
13. Ткачев Б.П. Гидродинамические процессы устьевых областей реки Иртыш // Водное хозяйство России. 2015. № 4. С. 44–52.
14. Оценка воздействия на окружающую среду и социальную среду: Краткое изложение результатов оценки. Версия 2. Октябрь 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://yamalng.ru/403/docs/NTS%20Issue%202%20RUS%20IS%20clean%20v2.pdf> (дата обращения: 14.02.2020).