

УДК 91:502.7

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ БАСЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКИ К АНТРОПОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Николаева Н.А.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук» Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова
Сибирского отделения Российской Академии наук, Якутск, e-mail: nna0848@mail.ru*

Для обеспечения условий устойчивого социально-экономического развития северных регионов России одним из приоритетных направлений является дальнейшая разработка стратегически важных минерально-сырьевых ресурсов. В бассейне р. Индигирки, расположенной в северо-восточной части Республики Саха (Якутия), сосредоточено горнодобывающее производство по освоению богатых месторождений россыпного и рудного золота. Вместе с тем бассейн р. Индигирки, в силу уязвимости хрупкой северной экосистемы к техногенным воздействиям, характеризуется особыми условиями экологически рискованного природопользования. Среди них главнейшим является фактор слабой устойчивости геосистем бассейна к любым видам техногенных воздействий и низкой восстановительной способностью их компонентов. Целью исследования явилась оценка степени устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки, связанная с нарушением поверхностного грунтового и почвенно-растительного покрова. Для этого были приняты основные факторы устойчивости природных комплексов региона – показатели мерзлотно-литогенных и биоклиматических условий. Оценка степени устойчивости произведена при помощи метода ранжирования в сочетании с методом непосредственной оценки. Определено, что большая часть геосистем исследуемой территории неустойчива к механическим антропогенным нагрузкам. Анализ сочетания основных ландшафтообразующих факторов исследуемого региона позволил оценить степень устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки следующим образом. Крайней степенью неустойчивости определена озерно-термокарстовая провинция с арктическими тундрами. Неустойчивыми явились озерно-термокарстовая северотаежная, а также горно-тундровые и горноредколесные провинции, а горноредколесные северотаежные ландшафтные провинции определены как слабоустойчивые. Территориальное распределение устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки закономерно согласуется с широтно-зональным и высотно-поясным распределением мерзлотных и биоклиматических факторов. Так, устойчивость низинной части бассейна является крайне слабой, а устойчивость ландшафтов горной территории подчинена высотной поясности и варьирует от неустойчивой до слабоустойчивой.

Ключевые слова: бассейн р. Индигирка, золотодобывающая отрасль, ландшафты, устойчивость, мерзлотно-литогенные и биоклиматические показатели

ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF THE INDIGIRKA BASIN LANDSCAPES

Nikolaeva N.A.

*Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center «Yakut Scientific Center
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences» Institute of Physical
and Technical Problems of the North named after V.P. Larionov, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru*

To ensure the conditions for sustainable social and economic development of the northern regions of Russia, one of the priority areas is the further development of strategically important mineral resources. In the river basin of Indigirka, located in the northeastern part of the Republic of Sakha (Yakutia), mining production is concentrated for the development of rich deposits of placer and ore gold. At the same time, the river basin of Indigirka, due to the vulnerability of the fragile northern ecosystem to technogenic impacts, is characterized by special conditions for environmentally risky nature management. Among them, the most important factor is the weak resistance of the basin ecosystems to any types of technogenic impacts and the low restorative capacity of their components. The aim of the study was to determine the degree of mechanical stability of the landscapes of the river basin of Indigirka associated with disturbance of the surface soil and soil-vegetation cover. For this, the main factors of stability of the natural complexes of the region were taken – indicators of permafrost-lithogenic and bioclimatic processes. The assessment of the degree of stability was carried out using the ranking method in combination with the direct assessment method. It has been determined that most of the geosystems of the study area are unstable to mechanical anthropogenic loads. Analysis of the combination of the main landscape-forming factors of the studied region made it possible to assess the degree of stability of the landscapes of the river basin of Indigirka as follows. The lacustrine-thermokarst province with the arctic tundra is determined by the extreme degree of instability. The lacustrine-thermokarst northern taiga provinces, as well as mountain tundra and mountain sparse forest provinces were unstable, and the mountain sparse wooded northern taiga landscape provinces were identified as weakly resistant. The territorial distribution of the sustainability of the landscapes of the river basin of Indigirka is naturally consistent with the latitudinal-zonal and altitudinal-belt distribution of permafrost and bioclimatic factors. Thus, the stability of the low-lying part of the basin is extremely weak, and the landscapes of the mountainous territory are subordinate to the altitudinal zonation and vary from unstable to weakly stable.

Keywords: basin of river Indigirka, gold mining industry, landscapes, stability, permafrost-lithogenic and bioclimatic indicators

«Основой жизнеспособности Республики Саха (Якутия), как и России в целом, является ее минерально-сырьевая база и добывающая промышленность» [1, с. 9]. Но высокие риски и затраты, связанные с разработкой месторождений, низкая степень изученности экологического воздействия освоения в труднодоступных экстремальных условиях не позволяют в достаточной степени реализовать огромный ресурсный и инвестиционный потенциал Северо-Востока Якутии.

Территория бассейна р. Индигирки, как и всех крупных рек арктического сектора Якутии, характеризуется суровым резко континентальным климатом и расположением в области криолитозоны. В верхнем течении бассейна в пределах Верхне-Индигирского золотоносного района развита горнодобывающая промышленность [2], которая оказывает негативное техногенное воздействие на неустойчивые северные геосистемы, их нарушение и загрязнение. Источниками поступления вредных веществ являются также предприятия инфраструктуры, включая энергогенерирующие предприятия, транспорт, населенные пункты.

Среди неблагоприятных факторов экологически рискованного природопользования в регионе особое значение имеет слабая устойчивость геосистем бассейна к любым видам техногенных воздействий и низкая восстановительная способность геосистем.

Для реализации планов по развитию этой территории необходимы исследования по комплексной оценке природного состояния, часть которых представляет собой качественное оценивание природной устойчивости геосистем к техногенному воздействию, что и явилось целью данного исследования.

Материалы и методы исследования

Оценка устойчивости бассейна р. Индигирки получена исходя из анализа методики [3], где критерием устойчивости мерзлотных ландшафтов являются мерзлотные характеристики литогенной основы, механическое нарушение которых приводит к активизации криогеологических процессов, а также методики [4], в которой оценка основана на рассмотрении биоклиматических условий ландшафтно-экологических комплексов. По величине суммарного балла дана оценка степени устойчивости. Кроме этого была использована Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия) [5].

Результаты исследования и их обсуждение

По мерзлотно-ландшафтному районированию бассейн р. Индигирки входит в состав Северо-Восточной Сибири и включает в себя пять ландшафтных провинций арктической зоны [6]:

В.П.3. Нижнеиндигирскую озерно-термокарстовую тундровую провинцию;

В.П.1. Абыйскую озерно-термокарстовую северотаежную провинцию;

В.И.5. Кондаковско-Улахансисскую плоскогорную провинцию с преобладанием горнотундровых ландшафтов;

В.И.6. Момскую среднегорную горнотундровую и горноредколесную провинцию;

В.П.1. Момо-Селенняхскую межгорно-котловинную провинцию с преобладанием горноредколесных и северотаежных комплексов.

В.И.5. Черскую среднегорную горнотундровую и горноредколесную провинцию;

В.В.4. Оймяконскую провинцию с преобладанием горноредколесных ландшафтов.

Ландшафтная характеристика провинций: В.П.3. Основная площадь Нижне-Индигирской озерно-термокарстовой провинции относится к аласному типу ландшафтов, за исключением южной части, занятой межаласным ландшафтом, и поймы р. Индигирки с низкотеррасовым типом ландшафта. В. П.1. Провинция Абыйская озерно-термокарстовая. Типы природных комплексов: межаласный, аласный, зандровый, древнетеррасовый, низкотеррасовый, мелкодолинный, плоскогорно-привершинный, горно-склоновый. Основные типы ландшафтов – межаласный и аласный. Также имеются зандровый, мелкодолинный, низкотеррасовый и другие типы ландшафтов». В.И.5. Провинция Кондаковско-Улахансисская низкогорная. Основным тип ландшафтов – горносклоновый. Также имеются плоскогорно-привершинные и горно-привершинные комплексы. Развита пустыни горные эпофитно-лишайниковые, тундры горнокаменистые и лишайниковые, а также тундры заболоченные. В.И.6. Провинция Момская среднегорная. Типы местностей: горно-привершинный, плоскогорно-привершинный, горно-склоновый, низкотеррасовый, мелкодолинный, предгорно-зандровый, предгорноморенный, межаласный, ледниково-долинный. Характерны разнообразные формы рельефа – предгорно-зандровые, представленные днищами небольших межгорных впадин,

поверхности древних террас, зандровых равнин, а также межаласный. Растительность представлена подгольцовыми листовичными кустарничково-лишайниковыми редколесьями и кедровым стлаником. В.VII.1. Провинция Момо-Селеннянская межгорно-котловинная отличается наличием следующих типов местностей: межаласного, аласного, горно-долинного, террасового, предгорного моренного, предгорного зандрового, плоскогорно-привершинного, горно-склонового, горно-привершинного, мелкодолинного, горно-долинного, ледниково-долинного. Для предгорий и горных склонов и межаласий высоких террас характерен редкостойный листовичник с различными типами подроста и кустарничков, на аласах произрастают ерники со сфагновыми болотами [7].

В связи с наличием многолетнемерзлых пород ведущими факторами устойчивости природных комплексов являются мерзлотные процессы: льдистость поверхностных отложений, температура мерзлых пород и мощность сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев. Наиболее опасным является качественное изменение геокриологической

обстановки, т.е. переход многолетнемерзлых пород в талое состояние. При переходе среднегодовой температуры через 0°C начинается оттайка и деградация пород. При этом прочностные свойства пород скачкообразно снижаются и развиваются опасные процессы: термокарст, термоэрозия и др. К резкому повышению среднегодовой температуры приводит снятие теплоизолирующих напочвенных растительных покровов (травяных, лишайниковых и особенно моховых [8]). Факторами, влияющими на устойчивость, являются также климатические и биологические условия, зависящие от соотношения тепла и влаги в каждом природном комплексе: биопродуктивность, поступление тепловой энергии (по величине радиационного баланса), поступление влаги (в основном по величине годовых осадков) [9].

Для оценки устойчивости ландшафтных провинций бассейна р. Индигирки приняты основные факторы их формирования – мерзлотные и биоклиматические показатели (табл. 1). При этом использованы данные, характеризующие ландшафты бассейна р. Индигирки по [5, 6], а также по [10, 11].

Таблица 1
Биоклиматические и мерзлотные показатели ландшафтов бассейна реки Индигирки

Обозначение	Продуктивность, ц/га	Запасы фитомассы, ц/га	Теплообеспеченность, град.	Радиационный индекс сухости, ккал см ² /год	Мощность (стс смс), м	Температура пород на подошве слоя годовых колебаний (средн./мин.), °С	Объемная льдистость пород, %	Характер распространения многолетнемерзлых пород
1	2	3	4	5	6	7	8	9
В.П.3	минимально-продуктивн. менее 20	от 70	очень холодные менее 600	влажные, 0,5–1,0	0,4–0,6	-9... -12	0,2–0,6	сплошной
В.Ш.1	низкопродуктивн., 20–40	400–1000	умеренно-холодные, 800–1000	недостаточно влажные, 1,5–2,0	0,7–1,2	-4... -7	0,4–0,8	сплошной
В.ИV.5	низко-продуктивн. 20–40	ок. 70	холодные менее 600 и очень холодные 600–800	недостаточно влажные, 1,5–2,0	0,4–1,5	-7... -11	0,2–0,4	сплошной
В.В.6	низко-продуктивн. 20–40 минимально продуктивн., менее 20	ок. 70;	холодные, 600–800	влажные (0,5–1,0)	1,2–1,8	-3... -9	0,2–0,4	сплошной

1	2	3	4	5	6	7	8	9
V.VII.1	низко-продуктивн. 20–40	400–1000	умеренно-холодные 800–1000	недостаточно влажные, 1,5–2,0	0,4–1,8	-3... -8,5	до 0,2...-0,2–0,4	сплошной
V.VI.5	минимально-продуктивн. менее 20 и низко-прод. 20–40	330–720; 1000	умеренно-холодные 800–1000	недостаточно влажные 1,5–2,0	0,7–0,2	-8...- 11	до 0,2...-0,2–0,4	сплошной
V.V.4	низко 20–40 и средне 40–60 продуктивн.	1000	умеренно-холодные 800–1000	недостаточно 1,5–2,0 и умеренно влажные 1,0–1,5	1,0–2,0 1,5–2,5	-2...-4 -2...-6	до 0,2...-0,2–0,4	сплошной

Таблица 2

Оценка влияния природных факторов на снижение устойчивости ландшафтов

Биогидротермические и геокриологические условия	Оценка влияния в баллах			
	1 балл относительно устойчивые не влияет	2 балла относительно неустойчивые слабо влияет	3 балла неустойчивые заметно влияет	4 балла крайне неустойчивые нарушает
Продуктивность, ц/га	повышенно-продуктивные, 60–80	средне-продуктивные, 40–60	низко-продуктивные, 20–40	минимально продуктивные, менее 20
Теплообеспеченность, °С	умеренно-теплые, 1200–1400; 1400–1600	умеренно-холодные, 800–1000; 1000–1200	холодные, 600–800	очень холодные, менее 600
Индекс сухости, ккал·м ² /год	влажные, 0,5–1,0	умеренно-влажные, 1,0–1,5	недостаточно-влажные, 1,5–2,0	сухие, более 2,0
Запасы фитомассы, 1 ц/га	1200–1500	400–1000	330–800	20–100
Характер распространения многолетнемерзлых пород	островной	прерывистый	сплошной подрусловьями таликами	сплошной
Температура грунтов, °С	от -5° и ниже	от -5° до -2°	от -2° до -1°	от -1° до +1°
Льдистость отложений (объемная), отн. ед.	0,1–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6 и более
Мощность сезонно-талого (стс) и сезонно-мерзлого (смс) слоев, м	более 2,0	1,5–2,0	0,8–1,5	до 0,8

Для оценки устойчивости ландшафтов проведено ранжирование принятых факторов в сочетании с присвоением каждому ландшафту экспертных баллов. Выделены 4 градации по степени влияния определенного фактора на снижение устойчивости ландшафта: наиболее устойчивому ландшафту был присвоен 1 балл, а наименее устойчивому – 4 балла [3, 12], табл. 2.

Оценка устойчивости выполнена путем приведения мерзлотных и биоклиматических показателей ландшафтной провинции в единый ряд по степени их влияния на снижение устойчивости по значениям присвоенных экспертных оценочных баллов каждой из них. Суммарный балл влияния всех факторов показал оценку устойчивости каждой ландшафтной провинции бассейна р. Индигирки (табл. 3). При составлении та-

блицы использованы названия биоклиматических и мерзлотных факторов по [12].

Таким образом, анализ сочетания основных ландшафтообразующих факторов исследуемого региона позволил оценить степень устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки следующим образом. В большинстве ландшафты бассейна определены как неустойчивые. Так, неустойчивыми явились природные комплексы с аласным, низкотеррасовым, межаласным и мелкодолинным типами ландшафтов. Ландшафты с горно-склоновым, моренным, горно-долинным и долинным типами ландшафтов также отнесены к неустойчивым [10]. Устойчивыми в слабой степени явились ландшафтные комплексы с горно-привершинным и плоскогорно-привершинным типами ландшафтов.

Таблица 3

Степень устойчивости ландшафтов бассейна реки Индигирки

Биоклиматические и мерзлотные факторы	Провинции						
	В.П.3	В.Ш.1	В.И.5	В.В.6	В.В.1	В.В.5	В.В.4
Продуктивность, ц/га	4	3	3	3	3	3	2
Запасы фитомассы, ц/га	4	2	4	4	2	2	2
Теплообеспеченность, С°	4	2	3	3	2	2	2
Индекс сухости, ккал•м ² /год	1	3	3	1	3	3	2
Мощность сезонно-талого (стс) и сезонно-мерзлого (смс) слоев, м	4	3	3	2	2	4	1
Температура грунтов, °С	1	1	1	1	1	1	2
Льдистость поверхностных отложений (объемная), %	3	4	2	2	1	1	1
Характер распространения многолетнемерзлых пород, ммр	4	4	4	4	4	4	4
Сумма баллов	25	22	23	20	18	20	16
Степень устойчивости	крайне неустойчивые	неустойчивые	неустойчивые	неустойчивые	слабоустойчивые	неустойчивые	слабоустойчивые

Заключение

Территориальное распределение устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки закономерно согласуется с широтно-зональным и высотно-поясным распределением мерзлотных и биоклиматических факторов. Так, если устойчивость ландшафтов северной низинной части реки является крайне слабой, то устойчивость ландшафтов горной части бассейна подчинена высотной поясности и варьирует от неустойчивой до слабоустойчивой.

Выявлено, что Нижнеиндигирская озерно-термокарстовая провинция с арктическими тундрами определена как обладающая крайней степенью неустойчивости в связи с очень низкими биоклиматическими показателями, высокой льдистостью, низкой температурой горных пород и небольшой глубиной слоев сезонного протаивания и промерзания. Биоклиматические показатели северотаежной редколесной Абыйской озерно-термокарстовой провинции определяют ее как слабоустойчивую, но высокая льдистость и малая мощность глубины протаивания снижают ее показатели до неустойчивой. Неустойчивыми явились также Кондаковско-Улахансисская, Момская и Черская среднегорные горнотундровые и горноредколесные провинции, что обусловлено малой мощностью глубин сезонного промерзания и протаивания горных пород, низкими значениями мерзлотных условий. Момо-Селенняхская и Оймяконская горноредколесные северотаежные ландшафтные провинции определены как слабоустойчивые в связи с пониженной льдисто-

стью, повышенными запасами фитомассы и условиями теплообеспеченности.

Практическая значимость заключается в том, что данная работа, являясь необходимым звеном дальнейшего исследования по оценке экологического воздействия освоения труднодоступной территории Крайнего Севера, может привести к обоснованию и разработке ландшафтно-дифференцированных природоохранных мероприятий по снижению экологических последствий воздействия горнодобывающей промышленности в бассейне р. Индигирки.

Список литературы / References

1. Асеев А.Л., Лебедев М.П. О концепции Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия) // Экономика Востока России. 2015. № 2 (4). С. 9–11.
2. Aseev A.L., Lebedev M.P. About the concept of the Program of integrated scientific research in the Republic of Sakha (Yakutia) // Ekonomika Vostoka Rossii. 2015. № 2 (4). P. 9–11 (in Russian).
3. Кычкин В.А., Соловьев Е.Э. Геопотенциальные поля центральной части Верхне-Индигирского района // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2014. Т. 11. № 6. С. 54–58.
4. Kychkin V.A., Soloviev E.E. Geopotential fields of the central part of the Verkhne-Indigirsky district // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. 2014. V. 11. № 6. P. 54–58 (in Russian).
5. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1994. № 1. С. 56–65.
6. Shpolyanskaya N.A., Zotova L.I. Stability map of landscapes of permafrost zone of Western Siberia // Vestnik MGU. Ser. 5. Geografija. 1994. № 1. P. 56–65 (in Russian).
7. Букс И.И. Некоторые методические вопросы определения потенциальной устойчивости природных комплексов в целях прогнозирования их состояния // Методология и методы географического прогнозирования. 1983. С. 104–113.
8. Bux I.I. Some methodological issues of determining the potential stability of natural complexes in order to predict

their state // Metodologija i metody geograficheskogo prognozirovanija. 1983. P. 104–113 (in Russian).

5. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк. 2018. 2 л.

Permafrost landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1: 1 500 000 / Fedorov A.N., Torgovkin Ya.I., Shestakova A.A., Vasilev N.F., Makarov V.S. i dr.; gl. red. M.N. Zheleznyak. 2018. 2 l. (in Russian).

6. Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. и др. Мерзлотные ландшафты Якутии: Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР». 1989. 70 с.

Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. etc. Permafrost landscapes of Yakutia: Pojasnitel'naja zapiska k «Merzlotno-landshaftnoj karte Jakutskoj ASSR». 1989. 70 p. (in Russian).

7. Горохов А.Н. Эколого-географическое районирование Верхоянского улуса (района) Республики Саха (Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. 2016. № 3 (3). С. 69–92.

Gorokhov A.N. Ecological and geographical zoning of the Verkhoyansk ulus (district) of the Republic of Sakha (Yakutia) // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Seriya: Nauki o Zemle. 2016. № 3 (3). P. 69–92 (in Russian).

8. Булдович С.Н. Оценка устойчивости многолетне-мерзлых пород к техногенным воздействиям при освоении северных территорий России // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 1. С. 47–59.

Buldovich S.N. Assessment of the stability of permafrost rocks to technogenic impacts during the development of the northern territories of Russia // Vestnik RUDN. Ser. Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. 2012. № 1. P. 47–59 (in Russian).

9. Абалаков А.Д., Лопаткин Д.А. Устойчивость ландшафтов и ее картографирование // Известия Иркутского государственного университета. 2014. Т. 8. С. 2–14.

Abalakov A.D., Lopatkin D.A. Mapping of Landscape Stability // Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. T. 8. P. 2–14 (in Russian).

10. Николаева Н.А. Оценка устойчивости ландшафтов бассейна реки Яны // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 79–84.

Nikolaeva N.A. Assessment of the sustainability of landscapes in the Yana river basin // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. № 9. P. 79–84 (in Russian).

11. Николаева Н.А., Пинигин Д.Д. К вопросу об устойчивости природных комплексов зоны освоения Эльгинского каменноугольного месторождения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2 (2). С. 457–461.

Nikolaeva N.A., Pinigin D.D. On the issue of the stability of natural complexes in the development zone of the Elga coal deposit // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2016. V. 18. № 2 (2). P. 457–461 (in Russian).

12. Николаева Н.А. Оценка устойчивости ландшафтов трассы ВСТО-1 // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 2. С. 7–10.

Nikolaeva N.A. Assessment of the stability of the landscapes of the ESPO-1 highway // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2012. № 2. P. 7–10 (in Russian).