

УДК 504.453:91:502.7

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ БАСЕЙНА РЕКИ ЯНЫ**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

Освоение имеющихся минерально-сырьевых ресурсов арктической зоны Якутии сопровождается все более усиливающимся воздействием на природную среду, что ставит задачи разработки особых экологических требований к способам хозяйствования с обязательным учетом экстремальных природно-климатических условий и низкой устойчивости природных ландшафтов в разряд актуальных. На обширной территории бассейна р. Яны расположены месторождения многих полезных ископаемых, действуют и строятся крупные горнодобывающие комплексы по добыче золота, серебра, сурьмы, имеются предприятия электроэнергетики, транспорта. Промышленное освоение особенно негативно воздействует на уязвимые северные ландшафты, а в случае недостаточной реализации необходимых природоохранных мероприятий может привести к крайне неблагоприятным, близким к катастрофическим экологическим, а также социальным последствиям. Обоснование направлений снижения отрицательных последствий промышленного освоения Севера целесообразно проводить в строгом соответствии с закономерностями строения, процессов и изменения ландшафтной структуры, которое обеспечивает ландшафтный подход и дифференцированную оценку природной устойчивости ландшафтов к антропогенной нагрузке. Оценивание было проведено при помощи ранжирования основных мерзлотных и биогидроклиматических показателей ландшафтных провинций. Определено, что все ландшафтные провинции бассейна р. Яны являются природными комплексами с различной степенью устойчивости. Характер устойчивости ландшафтов к антропогенным нагрузкам меняется в зависимости от сочетания мерзлотных и биогидроклиматических факторов. Так, наиболее неустойчивыми явились природные комплексы с низкотеррасовым, межгаласным и мелкодолинным типами ландшафтов. Провинции с горносклоновым, моренным, горно-долинным и долинным типами ландшафтов отнесены к неустойчивым. Относительно неустойчивыми явились провинции с горнопривершинным и плоскогорнопривершинным типами ландшафтов. Результаты оценки степени устойчивости ландшафтных провинций арктической Якутии по биоклиматическим и мерзлотным условиям позволяют наметить пути проведения природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: Арктика, горнодобывающие комплексы, ландшафты, мерзлотные и биогидроклиматические показатели, устойчивость ландшафтов

ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF THE JANA 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. Larionova, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru

The development of the existing mineral resources of the Arctic zone of Yakutia is accompanied by an ever-increasing impact on the natural environment, which poses the task of developing special environmental requirements for management methods, with mandatory consideration of extreme climatic conditions and low sustainability of natural landscapes as relevant. On the vast territory of the Yana River basin, many mineral deposits are located, large mining complexes for the extraction of gold, silver, antimony are operating and are being built, there are enterprises of electric power industry and transport. Industrial production has a particularly negative effect on fragile northern landscapes, and in case of insufficient implementation of the necessary environmental measures, it can lead to extremely unfavorable, close to catastrophic environmental as well as social consequences. The rationale for reducing the negative consequences of the industrial development of the North should be carried out in strict accordance with the laws of the structure, processes and changes in the landscape structure, which provides a landscape approach and a differentiated assessment of the landscape's natural resistance to anthropogenic stress. The assessment was carried out by ranking the main permafrost and biogeochemical indicators of landscape provinces. To prevent the negative consequences of anthropogenic pressure on natural landscapes, it is of paramount importance to assess the degree of their resistance to anthropogenic impact. For this, a number of the main landscape-forming factors of this territory were adopted and analyzed – permafrost (ice, temperature, thawing and freezing of frozen soils) and biogeochemical (phytomass, productivity, heat and moisture supply indicators). Their ranking according to the degree of influence on sustainability made it possible to assess the sustainability of natural complexes. As a result of the assessment, it was determined that all landscape provinces of the river basin Yana are assigned to natural complexes with varying degrees of instability. The nature of landscape resistance to anthropogenic pressures varies depending on the combination of permafrost and biogeochemical factors. So, the most unstable were natural complexes with low terraces, interalae, and shallow-valley types of landscapes. Provinces with mountain-slope, moraine, mountain-valley and valley types of landscapes are classified as unstable. Relatively unstable was a province with a mountain-top and flat-mountain top-landscape types. The results of assessing the degree of stability of the landscape provinces of the Arctic Yakutia according to bioclimatic and permafrost conditions allow us to outline ways of environmental protection.

Keywords: Arctic, mining complexes, landscapes, permafrost and biogeochemical indicators, stability of landscapes

Для устойчивого развития арктической зоны Республики Саха (Якутия) необходимо освоение труднодоступных минерально-сырьевых ресурсов в экстремальных природно-климатических условиях. Но в связи с низкой степенью изученности экологических последствий техногенного воздействия на состояние природных комплексов неотлагательно требуются опережающие научно-исследовательские работы. «В качестве приоритетных направлений исследований по изучению экологии арктических и субарктических районов Якутии выделяется изучение устойчивости мерзлотных экосистем» [1, с. 9].

Обширный бассейн р. Яны занимает площадь трех административных районов Республики Саха (Якутии) – Усть-Янского, Верхоянского и северную оконечность Кобяйского. К территории приурочены месторождения полезных ископаемых – золота, олова, серебра, вольфрама, ртути, свинца, меди. Действуют и строятся крупные горнодобывающие комплексы по добыче месторождения золота «Кючус», серебра «Мангазейское» и «Прогноз», золота и сурьмы «Сентачан» [2]. Кроме них, имеются предприятия электроэнергетики, транспорта, местной промышленности и сельского хозяйства. Промышленное освоение особенно негативно воздействует на уязвимые северные ландшафты, а в случае недостаточной реализации необходимых природоохранных мероприятий может привести к крайне неблагоприятным, близким к катастрофическим экологическим, а также социальным последствиям. Одним из путей решения этих проблем может стать применение ландшафтных методов, обеспечивающих экологические исследования, в том числе задачи оценки степени устойчивости ландшафтов к техногенному воздействию, предотвращения негативных последствий техногенной нагрузки на природные ландшафты.

Цель работы: оценка степени устойчивости ландшафтов в соответствии с закономерностями строения и их изменения под воздействием техногенных факторов [3].

Цель исследования: оценка степени устойчивости ландшафтов бассейна р. Яны в условиях воздействия промышленного освоения на изменение природной среды.

Материалы и методы исследования

Оценка устойчивости ландшафтов бассейна р. Яны к механическим нарушениям

была произведена путем применения методики [4].

Устойчивость ландшафтов Севера и Сибири и ее проблемы рассматривались многими авторами [5–7], причем основными критериями устойчивости различными авторами принимаются разные факторы. При антропогенном воздействии и изменении криогенных ландшафтов их основные свойства обусловлены двумя главными характеристиками: льдистостью и среднегодовой температурой, температурой многолетнемерзлых пород. «Именно они являются свойствами литогенной основы ландшафтов до нарушения и определяют характер большинства их составляющих (растительности, глубины сезонного протаивания-промерзания, мерзлотно-геологических процессов)» [7, с. 26].

Для устойчивости мерзлотных ландшафтов при механических нарушениях большое значение имеет уровень «природного экологического потенциала ландшафта, главным показателем которого является индекс биологической эффективности климата» [8, с. 4], основанного на соотношении тепла и влаги, от которых зависит биологическая продуктивность ландшафта. Таким образом, для оценки устойчивости ландшафтов бассейна р. Яны были приняты их мерзлотно-литогенные, климатические и биологические характеристики.

Результаты исследования и их обсуждение

Ландшафтный анализ, включающий в себя методы оценки устойчивости, предопределяет необходимость изучения ландшафтной структуры территории исследования.

Бассейн р. Яны принадлежит физико-географической стране Северо-Восточная Сибирь и занимает пространство нескольких ландшафтных провинций. Физико-географические особенности региона позволили подразделить его на шесть провинций, входящих в состав четырех групп ландшафтных провинций: Нижне-Янскую озерно-термокарстовую, Куларскую низкогорную, Полоусненскую низкогорную, Приверхо-янскую моренную, Янскую плоскогорную и Орулганскую среднегорную [9, 10].

Ландшафтную структуру изучаемой территории составляют следующие типы местности: горно-привершинный, плоскогорно-привершинный, горно-склоновый, предгорный моренный, горно-долинный террасовый, ледниково-долинный, горно-долинный, межлассный, аласный, моренный, низкотеррасовый и мелкодолинный [7].

Краткая ландшафтная характеристика провинций: *V.II.2. Провинция Нижне-Янская озерно-термокарстовая.* Типы природных комплексов – горно-склоновый, горно-привершинный и плоскогорно-привершинный, а также долинные. Характерны низко- и среднегорные кустарничковые тундры, а также предтундровые ерниковые и кустарничково-моховые, часто заболоченные редколесья по долинам рек, минимально- и низкопродуктивные, очень холодные и холодные, влажность колеблется от избыточно-влажных до сухих местообитаний. В устье реки представлена низкотеррасовой поймой и террасами дельтовой аллювиально-аккумулятивной равнины. Левобережье представлено межаласным ландшафтом с южнотундровыми и лиственничными редианами и редколесьями, на правобережье – северотаежным, с плоскоравнинной поверхностью озерно-аллювиальных равнин; *V.IV.3. Провинция Куларская низкогорная.* Типы природных комплексов – горно-склоновый, горно-привершинный, плоскогорно-привершинный и долинный. Характерны высокогорные пустыни, кустарничковые тундры, низко- и среднегорные кустарничковые тундры, а также предтундровые ерниковые и кустарничково-моховые, часто заболоченные редколесья по долинам рек, минимально- и низкопродуктивные, очень холодные и холодные. Влажность колеблется от избыточно-влажных до сухих местообитаний; *V.IV.4. Провинция Полоусненская низкогорная.* Горно-склоновые, горно-привершинные, горно-долинные, плоскогорно-привершинные ландшафты сочетаются с межаласными и аласными. Покрыты пустынями горными эпифитно-лишайниковыми, тундрами горными каменистыми, лишайниковыми и заболоченными, а также низко- и среднегорными лиственничными редколесьями ерниковыми и кустарничково-лишайниковыми. Местообитания очень холодные, холодные, минимально и низкопродуктивные, избыточно и недостаточно влажные; *V.V.1. Провинция Приверхоянская моренная.* В целом характерно распространение плоскогорно-привершинных и горно-склоновых природных комплексов. Растительный покров представлен горными тундрами лишайниковыми и кустарничковыми, ерниковыми и заболоченными, а также лиственничными редколесьями и редианами кустарничковыми и лишайниковыми; *V.V.2. Провинция Янская плоскогорная.* Выровненные поверхности плоскогорий, поросшие горными тундрами,

лиственничным редколесьем и зарослями кедрового стланика, а также денудационных останцов, плоскогорий и долин горных рек составляют основную часть территории. Юго-восточная часть провинции занята моренными, межаласными и аласными ландшафтами, на которых прирастают северотаежные лиственничные редколесья ерниковые и кустарничково-лишайниковые. Местообитания минимально-продуктивные, умеренно-холодные, сухие; *V.VI.1. Провинция Орулганская среднегорная.* Сложный рельеф составляют горы, среди которых выделяются выровненные участки горных хребтов, их склоны, пологие поверхности межгорной котловины, днища троговых долин, ледниковые долины, морены. В пределах исследуемой территории растительность в основном представлена горными арктическими пустынями и горными тундрами лишайниковыми и зарослями кедрового стланика. Горные редколесья представлены фрагментарно. Местообитания низкопродуктивные, холодные, влажные [10].

Для оценки устойчивости ландшафтных провинций бассейна р. Яны приняты основные факторы их формирования [3]. Это мерзлотные и биоклиматические показатели, приведенные соответственно по [9, 10] и отраженные в табл. 1.

Каждой ландшафтной провинции были присвоены полученные экспертным путем оценочные баллы от 1 до 4, при этом с понижением устойчивости повышается балл [3]. Выделены 4 градации по степени влияния определенного фактора на снижение устойчивости ландшафта: не влияет – 1 балл; слабо влияет – 2; заметно влияет – 3; нарушает – 4 балла. По сумме баллов можно оценить степень устойчивости конкретной ландшафтной провинции. Так, более устойчивым ландшафтам был присвоен меньший общий балл (табл. 2).

Расчеты позволили дать оценку устойчивости группам ландшафтных провинций бассейна р. Яны по следующей шкале ранжирования: относительно устойчивые – менее 15; относительно неустойчивые – 15–18 баллов; неустойчивые – 19–23 балла; 24 и более – крайне неустойчивые. Расчеты позволили дать оценку устойчивости группам ландшафтных провинций бассейна р. Яны по следующей шкале ранжирования: относительно устойчивые – менее 15; относительно неустойчивые – 15–18 баллов; неустойчивые – 19–23 балла; 24 и более – крайне неустойчивые.

Таблица 1
Биоклиматические и мерзлотные факторы формирования ландшафтных провинций территории бассейна реки Яны

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 слоев годовых котлованов (средн./мин), °С	Объемная льдистость пород, %	Характер распространения млекопитающих
В.П-2.	минимально продуктивные, < 20	ок. 20-130	очень холодные и холодные < 600	недостаточно влажные, 1,5-2,0	0,15-0,8	-4...-12	т 70-85 с 40-75 п 30-50	сплошной с подрусловыми таликами
В.И.3.	минимально (< 20) и низкопродуктивные 20-40	ок. 70	очень холодные и холодные < 600	избыточно влажные (менее 0,5) и сухие 0,5-2,0	0,4-1,5	-7,5...-10	сщ 30-70 пщ 25-45 гоз 25-65	сплошной
В.И.4.	минимально (< 20) и низкопродуктивные 20-40	ок. 70	очень холодные и холодные < 600	избыточно (< 0,5) и недостаточно влажные, 0,5-1,5	0,4-1,5	-7,5...-10	сщ 30-70 пщ 25-45 гоз 25-65	сплошной
В.В.1.	минимально продуктивные < 20	ок. 1000	холодные, 600-800	сухие, 2,0-2,5	0,6-1,8	-3...-6	сщ 30-70 пщ 25-45 гоз 25-65	сплошной
В.В.2.	минимально продуктивные < 20	ок. 1000	умеренно холодные, 800-1000	сухие, 2,0-2,5	0,6-1,8	-3...-6	сщ 30-70 пщ 25-45 гоз 25-65	сплошной
В.В.1.1.	низкопродуктивные, 20-40	ок. 70-1000	холодные 600-800	умеренно влажные, 1,0-1,5	подольцовые 0,4-1,5 горно-редколесные 0,6-1,8	подольцовые -7,5...-10 горно-редколесные -3...-6	сщ 30-70 пщ 25-45 гоз 25-65	сплошной

Примечание. * стс – сезонно-талый слой; смс – сезонно-мерзлый слой; п – песок; с – суглинок, супесь; т – торф; гоз – грубообломочный с заполнителем; сщ – суглинок щебнистый; пщ – песок щебнистый.

Таблица 2

Оценка влияния природных факторов на снижение устойчивости ландшафтов

Биогидротермические и геокриологические условия	Оценка влияния в баллах			
	1 балл относительно устойчивые	2 балла относительно неустойчивые	3 балла неустойчивые	4 балла крайне неустойчивые
Продуктивность, ц/га	средне-продуктивные, 40–60	низкопродуктивные, 20–40	минимально (< 20) и низкопродуктивные, 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	умеренно влажные, 1,0–1,5	недостаточно влажные, 1,5–2,0;	избыточно-влажные, менее 0,5	сухие, 2,0–2,5
Запасы фитомассы, ц/га	1200–2000	400–1000	70–400	20–130
Характер распространения многолетнемерзлых пород	прерывистый	сплошной с подрусловыми таликами	сплошной	сплошной
Температура грунтов, °С	от –5 ⁰ и ниже	от –5 ⁰ до –2 ⁰	от –2 ⁰ до –1 ⁰	от –1 ⁰ до + 1 ⁰
Льдистость отложений (объемная), %	10–20	20–40	40–60	60 и более
Мощность сезонно-талого (стс) и сезонно-мерзлого (смс) слоев, м	1,5–2,0	0,8–1,8	0,2–0,8	до 0,15

Таблица 3

Оценка влияния биоклиматических и мерзлотных условий на степень устойчивости ландшафтов бассейна р. Яны

Биоклиматические и мерзлотные факторы	Провинции					
	В.П.2	В.ИV.3	В.ИV.4	В.V.1	В.V.2	В.VI.1
Продуктивность, ц/га	4	3	3	4	4	2
Запасы фитомассы, ц/га	4	4	4	2	2	2
Теплообеспеченность, °С	4	4	4	3	2	3
Индекс сухости, ккал·м ² /год	2	3	2	4	4	1
Мощность сезонно-талого (стс) и сезонно-мерзлого (смс) слоев, м	3	2	2	2	2	2
Температура грунтов, °С	1	1	1	2	2	1
Льдистость поверхностных отложений (объемная), %	4	3	3	3	3	3
Характер распространения многолетнемерзлых пород, ммп	2	1	1	1	1	1
Сумма баллов	24	21	21	21	20	15
Степень устойчивости	крайне неустой.	неустой.	неустойч.	неустойч.	неустойч.	относит. неустойч.

В табл. 3 дана суммарная оценка степени устойчивости была произведена для ландшафтных провинций бассейна р. Яны.

Анализ полученных результатов позволил дать оценку устойчивости природных комплексов бассейна р. Яны. Нижне-Янская тундровая ландшафтная провинция

с низкотеррасовым ландшафтом поймы в устье реки, относящаяся к субарктическим и арктическим тундрам, определена как природный комплекс крайней степени неустойчивости. Куларская и Полоусненская с преобладанием горнотундровых природных комплексов и заболоченными

редколесьями по долинам рек, отнесены к неустойчивым. Приверхоянская моренная и Янская плоскогорная провинции с преобладанием горноредколесных природных комплексов также отнесены к ландшафтам к неустойчивым. И лишь Орулганская среднегорная провинция с горнотундровыми и горноредколесными ландшафтами, представленными горными арктическими пустынями и горными тундрами лишайниковыми и зарослями кедрового стланика, определена как относительно неустойчивая.

Выводы

Таким образом, все ландшафтные провинции бассейна р. Яны отнесены к природным комплексам с различной степенью неустойчивости. Характер устойчивости ландшафтов к антропогенным нагрузкам меняется в зависимости от сочетания мерзлотных и биогидроклиматических факторов. Так, наиболее неустойчивыми явились природные комплексы с низкотеррасовым, межлассным и мелкодолинным типами ландшафтов. Провинции с горносклоновым, моренным, горно-долинным и долинным типами ландшафтов отнесены к неустойчивым. Относительно неустойчивой явилась провинция с горнопривершинным и плоскогорнопривершинным типами ландшафтов.

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. The Concept of the Complex Scientific Research Program in the Republic of Sakha (Yakutia) // *Ekonomika Vostoka Rossii*. 2015. № 2 (4). P. 9–11 (in Russian).
3. 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.
4. Николаева Н.А., Пинигин Д.Д. To the question of natural complexes stability in the zone of Elginsky coal field development // *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2016. V. 18. № 2–2. P. 457–461 (in Russian).
5. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. Серия 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*. 1994. № 1. Seriya 5. Geografija. P. 56–65 (in Russian).
7. Коновалова Т.И., Бессолицына Е.П. Устойчивость и направления антропогенных преобразований геосистем южной части средней Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2011. № 2. С. 120–137.
8. Konovalova T.I., Bessolitsyna E.P. Stability and directions of anthropogenic transformation of geosystems of the southern part of Central Siberia // *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: Nauki o Zemle. 2011. № 2. P. 120–137 (in Russian).
9. Васильев И.С., Федоров А.Н., Варламов С.П., Торговкин Я.И., Васильев А.И., Шестакова А.А. Устойчивость криогенных ландшафтов на северном участке трассы железной дороги Якутии // Наука и образование. 2009. № 2. С. 4–9.
10. Vasiliev I.S., Fedorov A.N., Varlamov S.P., Torgovkin Y.I., Vasiliev A.I., Shestakova A.A. Stability of cryogenic landscapes in the northern part of the railway line of Yakutia // *Nauka i obrazovanie*. 2009. № 2. P. 4–8 (in Russian).
11. Горохов А.Н. Оценка устойчивости мерзлотных ландшафтов Верхоянского района Республики Саха (Якутия) // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования: материалы XI Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному Дню Земли и 100-летию заповедной системы России. Красноярск: Изд-во: КГУ, 2016. С. 25–28.
12. Gorokhov A.N. Assessment of stability of permafrost landscapes in the Verkhoyansk district of the Republic of Sakha (Yakutia) // *Geografija i geojekologija na sluzhbe nauki i innovacionnogo obrazovanija: materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj Vsemirnomu Dnju Zemli i 100-letiju zapovednoj sistemy Rossii*. Krasnojarsk: Izd-vo: KGU, 2016. P. 25–28 (in Russian).
13. Абалаков А.Д., Лопаткин Д.А. Устойчивость ландшафтов и ее картографирование // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 8. С. 2–14.
14. Abalakov A.D., Lopatkin D.A. Mapping of Landscape Stability // *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: Nauki o Zemle. 2014. T. 8. P. 2–14 (in Russian).
15. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / гл. ред. М.Н. Железняк. М., 2018. 2 л.
16. Permafrost-landscape map of the Republic Sakha (Yakutia). Scale 1: 1 500 000 / ed. M.N. Zhelezniak. M., 2018. 2 p. (in Russian).
17. Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. Мерзлотные ландшафты Якутии: Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР». Новосибирск, 1989. 170 с.
18. Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. Permafrost landscapes of Yakutia: Explanatory note to the «Permafrost-landscape map of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic». Novosibirsk, 1989. 170 p. (in Russian).