

ПОДЗЕМНЫЕ ЛЬДЫ И НАЛЕДИ

УДК 551.340

doi:10.15356/2076-6734-2016-3-381-386

О преимуществах бассейнового подхода при изучении закономерностей распространения наледей

© 2016 г. В.В. Шепелев

Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия
sheply@mpi.ysn.ru

Advantages of the basin approach for investigations of aufeises (naleds)

V.V. Shepelev

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia
sheply@mpi.ysn.ru

Received 1 April, 2016

Accepted June 15, 2016

Keywords: *aufeis, basin approach, icing, icing formation, naled, relative icing coefficient, river basin, permafrost.*

Summary

Formation of aufeises (naleds) is rather widely distributed cryogenic process in the permafrost zone, therefore naleds are reasonably called the seasonal glaciation of the planet. The ever-increasing interest in aufeises significantly extends the thematic focus of studying them. Various methodological approaches (basin, geological-structural, lithologic-facies, statistical, etc.) are used to reveal regularities of the aufeis occurrence. Using several river basins in Yakutia and its territory as the examples, the perspectivity of the basin approach for investigation of the aufeis distribution is substantiated in this study. The results demonstrated the clear relationship between the quantitative indicators of areal distribution of naleds and altitudes of places of their formation for individual river basins. This relationship suggests that aufeises in river basins of the permafrost zones are important elements in the water-balance and water exchange, which is closely interrelated with not only climatic and morphometric characteristics of a basin, but it does also correlate with its hydrological, hydrogeological, geological, geocryological, landscape and other conditions.

Поступила 1 апреля 2016 г.

Принята к печати 15 июня 2016 г.

Ключевые слова: *бассейновый подход, коэффициент относительной наледности, криолитозона, наледеобразование, наледь, речной бассейн.*

Для конкретных речных бассейнов Якутии и территории республики в целом автором рассчитаны количественные показатели площадного распространения наледей и высотного распределения мест их формирования. Выявленные закономерности подчёркивают, что наледи представляют собой важный водно-балансовый и водообменный элемент речных бассейнов криолитозоны.

Введение

Наледами принято называть ледяные массивы, образующиеся при замерзании периодически изливающихся на дневную поверхность природных или техногенных вод [1]. Масштабы распространения наледей, особенно в северных регионах, весьма значительны, поэтому их справедливо называют сезонным оледенением нашей планеты, интерес к изучению которого неуклонно растёт. Помимо исследования наледей как высоко динамичных ледовых образований, представляющих собой продукт определённой физико-географической обстановки, они привлекают

внимание как регулятор стока северных рек, как показатель гидрогеологических, геологических, геокриологических и других природных условий. Особое значение имеет изучение наледей при инженерно-геологических изысканиях, поскольку их присутствие существенно осложняет строительство и эксплуатацию железных и автомобильных дорог, мостов, трубопроводов, зданий и других сооружений в северных регионах. Разностороннее внимание к наледам создало определённые трудности не только в разработке единой методики их изучения, но и в систематизации, и в обобщении результатов исследований наледных процессов и явлений [2, 3].

Изучение закономерностей пространственного размещения наледей

При изучении особенностей распространения наледей по площади исследуемой территории используются следующие методические подходы: бассейновый, геолого-структурный, литолого-фациальный, статистический и др. [1, 4–6]. Выбор того или иного подхода определяется целевым назначением и детальностью исследований, степенью изученности и изменчивостью климатических, геологических, гидрогеологических, геоморфологических и других природных условий, масштабностью наледообразования и т.д. Тем не менее, при исследовании особенностей распространения наледей на территории криолитозоны наиболее предпочтителен из перечисленных бассейновый подход. Связано это, прежде всего, с тем, что суровые климатические условия и широкое распространение многолетнемерзлых пород предопределяют концентрацию наледей подземных вод в речных долинах.

Общеизвестно, что, благодаря отепляющему воздействию поверхностных водотоков на подстилающие многолетнемерзлые породы, в речных долинах создаются наиболее благоприятные мерзлотно-геотермические условия, способствующие формированию под руслами рек линейных таликовых зон. Последние служат своеобраз-

ными коллекторами для аккумуляции, стока и разгрузки подземных вод. В этом случае наледы, образуемые в долинах рек, представляя собой своеобразный элемент водного баланса речного бассейна, не только служат показателем ресурсов подземных и поверхностных вод и их взаимосвязи, но и отражают общие особенности гидрологических, геоморфологических, мерзлотных, гидрогеологических, геологических, ландшафтных и других условий водосборной площади. Как справедливо отмечают некоторые исследователи, в речном бассейне, где формируются наледы, существует определённое динамическое равновесие между наледообразовательным процессом и уровнем развития водосбора, обусловленное воздействием различных природных факторов [7].

Для отдельно взятого речного бассейна можно установить различные количественные характеристики распространения наледей. Так, в бассейне р. Мома (Восточная Якутия), площадь которого составляет 27 120 км², ежегодно формируется около 80 гигантских наледей, включая крупнейшую в мире наледь Улахан-Тарын (рис. 1). Суммарная площадь наледей в бассейне этой реки составляет 428 км² [6, 8]. Наледи развиты как в долине основной реки (24,6% общей площади всех наледей бассейна), так и на левобережных (54,6%) и правобережных (20,8%) её притоках. Коэффициент относительной наледности (от-

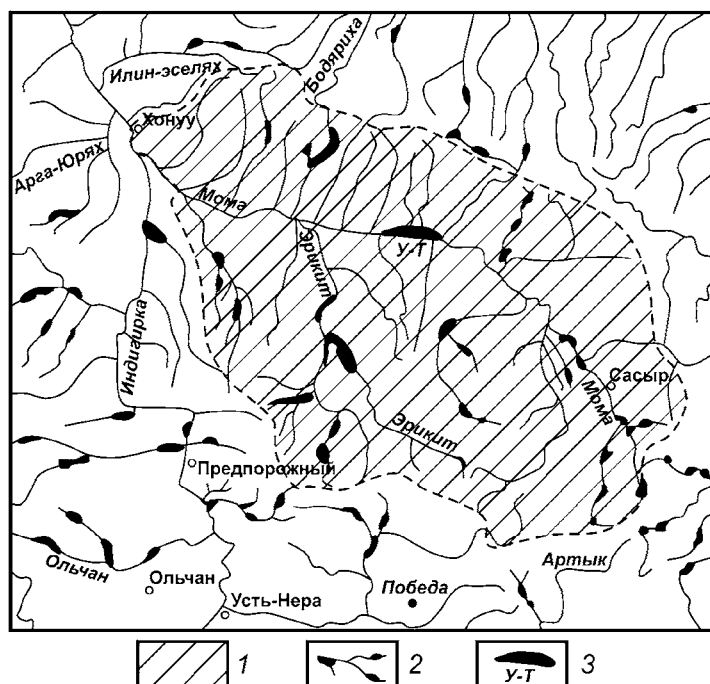


Рис. 1. Схема расположения гигантских наледей в бассейне р. Мома:

1 – территория расчётного бассейна; 2 – наледы; 3 – наледь Улахан-Тарын

Fig. 1. Schematic map showing the location of giant icings in the Moma River basin:

1 – estimation area; 2 – icings; 3 – Ulakhan-Taryn icing

ношение суммарной площади наледей к общей площади бассейна реки) составляет 1,58. Самые большие наледи в рассматриваемом бассейне отмечаются в долине основной реки.

Преимущественно сплошное распространение многолетнемёрзлых пород в наледных районах и значительные масштабы наледообразования не позволяют применять на таких территориях общепринятые методы оценки естественных ресурсов подземных вод. Для этой цели, а также для определения степени влияния процессов наледообразования на сток рек предложено использовать следующие количественные показатели развития наледей в речных бассейнах [8, 9]: 1) объём наледного питания, под которым понимается общее количество воды, сосредоточенной в наледях за зимний период и участвующей в весенне-летнее время в речном стоке, м^3 ; 2) величина наледного питания, т.е. суммарный расход подземных вод, идущих на формирование наледей, $\text{м}^3/\text{с}$; 3) величина наледного стока, т.е. объём наледного питания, отнесённый к периоду таяния наледей, $\text{м}^3/\text{с}$; 4) модули наледного питания и стока, $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; 5) слой наледного питания и стока, мм. Наледные показатели для бассейна р. Мома, рассчитанные по существующим методикам, таковы: объём наледного пита-

ния — $308,4\cdot 10^6 \text{ м}^3$; величина наледного питания — $20,96 \text{ м}^3/\text{с}$; значение наледного стока — $73,43 \text{ м}^3/\text{с}$; модуль наледного питания — $0,97 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; слой наледного стока — $14,3 \text{ мм}$ [8].

Используя бассейновый подход, можно составлять карты и схемы распространения наледей как для отдельных речных бассейнов, так и для территорий крупных административных регионов. В зависимости от детальности и масштабности территориальных обобщений может быть выбран и соответствующий размер речных бассейнов, принимаемый в качестве расчётного уровня генерализации сведений о распространении наледей. Так, для обзорных и мелкомасштабных обобщений расчётными могут быть приняты бассейны VI–VII порядков. На рис. 2 представлена схема распространения наледей на территории Якутии. Построена она на основе использования в качестве расчётного уровня генерализации речных бассейнов VII порядка. Составленная схема показывает, что в распространении наледей на территории Якутии отчётливая широтная зональность отсутствует. В основном наледи сконцентрированы в речных бассейнах Восточной и Южной Якутии, где наблюдается контрастный горный рельеф и отмечается высокая степень неравномерности развития продольного профиля рек.

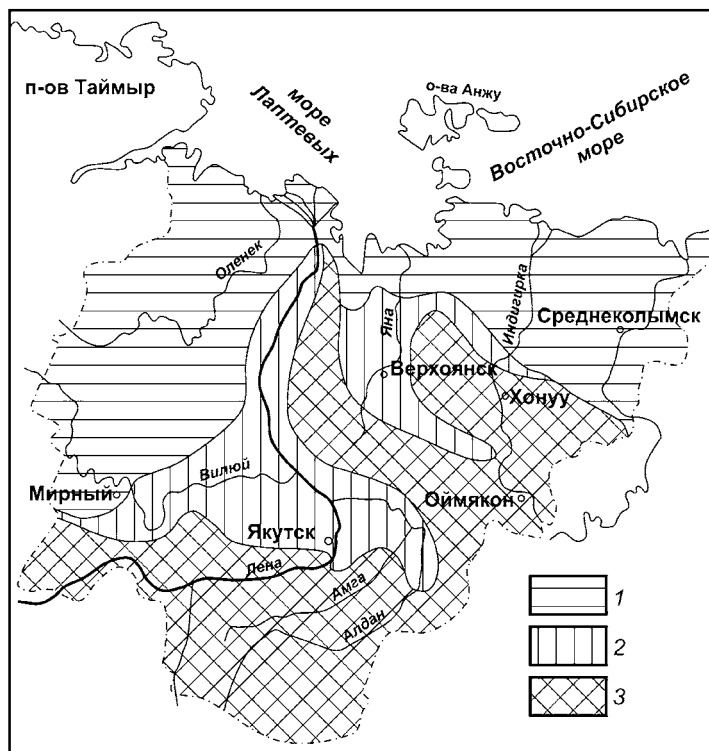


Рис. 2. Схема относительной наледности для территории Якутии:

1 — менее 0,01; 2 — 0,01–0,5; 3 — более 0,5

Fig. 2. Schematic map of Yakutia showing relative icing coverage.

1 — below 0.01; 2 — 0.01–0.5; 3 — above 0.5

Использование бассейнового подхода при изучении закономерностей распространения наледей не исключает применения других методов. Так, на основе геолого-структурного подхода к изучению распространения наледей в горных районах Восточной Якутии П.Ф. Швецовым [10], Г.К. Клещевым [11] и О.Н. Толстихиным [12] выявлены особенности связи процессов наледообразования с разломной тектоникой и тектоническими нарушениями надвигового типа. Применение литолого-фациального подхода позволило М.М. Корейше [13], Е.М. Катаонову [14], В.С. Шейнкману и И.А. Некрасову [15, 16], И.А. Некрасову [17] связать формирование и распространение наледей в некоторых районах Якутии с динамикой развития ледников, ледниковых форм и стадиями дегляциации.

Оценка распределения наледей по высотным отметкам мест их формирования

Особенности вертикального распределения наледей также изучаются на основе использования отмеченных ранее методических подходов. Для условий криолитозоны предпо-

чителен опять же бассейновый подход, который позволяет более комплексно исследовать особенности распределения наледей по высотным зонам и, в частности, связывать их расположение с основными количественными показателями речных бассейнов – средней высотой водораздела, отметкой базиса эрозии реки, изменением с высотой расхода и объема речного стока и т.д. На составленной на рис. 3 схеме распределения наледей по абсолютным отметкам мест их формирования выделено два высотных пояса: предналедный, или пояс концентрации и аккумуляции водно-тепловой энергии бассейна ($\Delta H_{\text{пнп}} = 700$ м); наледный, или пояс транзита и разгрузки водно-тепловой энергии речной системы ($\Delta H_{\text{нп}} = 1100$ м). Кривая распределения наледей по абсолютным отметкам мест их формирования асимметрична с пологой верхней линией и крутой нижней. Максимум развития наледей приходится на абсолютные отметки 400–600 м и в морфологическом отношении приурочен к выходу рек из горной части в равнинную.

Отметим, что отношение значений наледного высотного пояса к предналедному для бассейна р. Мома составляет 1,57, т.е. почти точно соответствует коэффициенту относительной на-

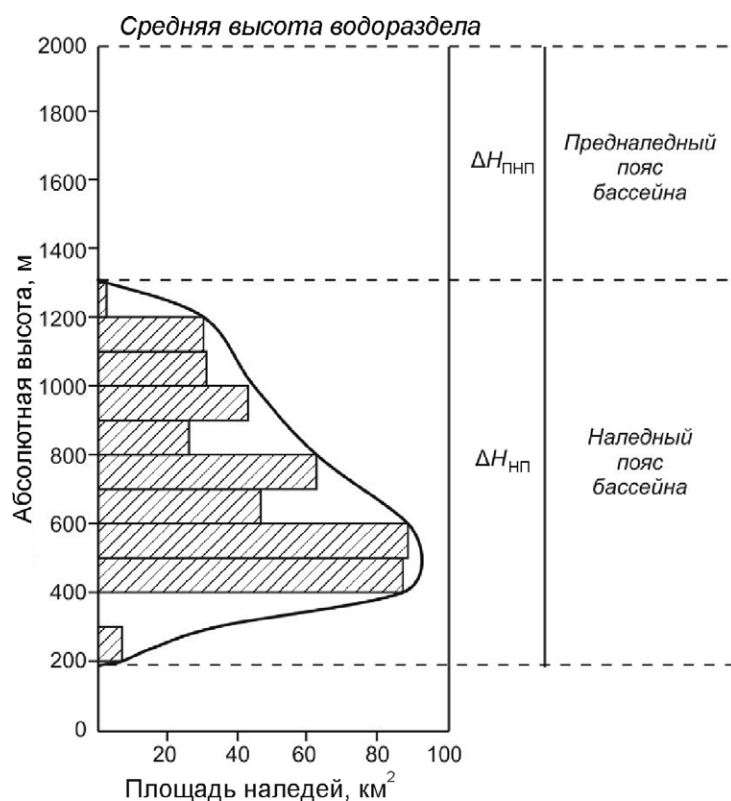


Рис. 3. Распределение наледей в бассейне р. Мома по высотным отметкам мест их формирования.

Fig. 3. Altitudinal distribution of icings in the Moma River basin

ледности этого бассейна – 1,58. Данное обстоятельство указывает на существование определённой связи между распространением наледей по площади и высотным их распределением для отдельных речных систем криолитозоны. Этот факт показывает, что наледы в речных системах криолитозоны относятся к важным водно-балансовым и водообменным элементам, тесно связанным не только с общими климатическими и морфометрическими характеристиками речного бассейна, но и с его гидрологическими, гидрогеологическими, геологическими, геокриологическими, ландшафтными и другими условиями.

Геолого-структурный подход к анализу распределения наледей по высотным зонам наиболее детально и всесторонне разработан О.Н. Толстихиным [9], хотя отдельные примеры использования этого подхода есть и в работах других исследователей [18]. Сущность данного подхода заключается в том, что анализ расположения наледей по высотным отметкам проводится для отдельных типов гидрогеологических структур (гидрогеологических массивов, вулканогенных супербассейнов и др.), выделяемых, в свою очередь, на основе геолого-структурного принципа. Интервал абсолютных отметок, в пределах которых концентрируются наледы в той или иной гидрогеологической структуре (наледный пояс структуры), определяется, по мнению О.Н. Толстихина, в основном морфологией соответствующего гидрогеологического бассейна [9]. Однако наледную поясность гидрогеологических структур в этом случае, по существу, можно связать и с морфометрическими особенностями отдельных речных бассейнов, в частности с величиной и характером изменения продольного профиля рек, абсолютными отметками водоразделов и другими показателями.

Использование литолого-фациального подхода к анализу высотного распределения наледей в горных районах Восточной Якутии позволило выявить лишь некоторые качественные закономерности [10, 16]. Например, отмечена приуроченность наледей к определённым участкам ригельно-моренных комплексов, развитых в троговых речных долинах горной системы Черского. Выделены были, в частности, наледы трёх типов: верховые (предригельные), ригельные и низовые, т.е. выявлен своеобразный вертикальный наледно-гляциальный комплекс в речных долинах трогового типа. Заметим, что данный подход представляет собой, по сути, частный вариант бассейнового подхода и применим только к речным долинам, расположенным в ледниковых районах криолитозоны.

Заключение

В условиях криолитозон, для которых характерны суровый климат и широкое развитие многолетнемерзлых пород, наледы образуются в основном в речных долинах. При изучении особенностей развития наледей существенное преимущество имеет бассейновый подход, использование которого позволяет более комплексно подходить к выявлению закономерностей распределения наледей как по площади, так и по высотным зонам. Всё это указывает на необходимость дальнейшего совершенствования данного методического подхода при изучении наледей и использовании выявленных закономерностей для уточнения гидрологических, гидрогеологических, ландшафтных, геолого-структурных, геокриологических, инженерно-геологических и других природных условий различных речных бассейнов криолитозоны.

Литература

1. Гляциологический словарь / Ред. В.М. Котляков. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 528 с.
2. Алексеев В.Р. Основные проблемы наледеведения // Проблемы наледеведения. Новосибирск: Наука, 1991. С. 5–23.
3. Алексеев В.Р. Криология Сибири: избранные труды. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008. 483 с.
4. Колотаев В.Н., Абакуменко А.Е. Информативный анализ в исследовании наледей // Пробле-

References

1. *Glyatsiologicheskii slovar'*. Dictionary of glaciology. Ed. V.M. Kotlyakov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984: 528 p. [In Russian].
2. *Alekseev V.R. Main problems of icing formation. Problemy naledevedeniya*. Problems in Icing Studies. Novosibirsk: Nauka, 1991: 5–23. [In Russian].
3. *Alekseev V.R. Kriologiya Sibiri: izbrannye trudy*. Cryology of Siberia: selected publications. Novosibirsk: Academic Publishing House "Geo", 2008: 483 p. [In Russian].
4. *Kolotaev V.N., Abakumenko A.E. Information analysis in icing studies. Problemy naledevedeniya*. Problems in

- мы наледеведения. Новосибирск: Наука, 1991. С. 90–95.
5. Соколов Б.Л. Поля характеристик наледей // МГИ. 1986. № 55. С. 133–147.
6. Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2011. 169 с.
7. Кравченко В.В., Гизетдинов А.М., Черных О.А. Наледные системы речных бассейнов как результат взаимодействия поверхностных и подземных вод // Проблемы наледеведения. Новосибирск: Наука, 1991. С. 66–76.
8. Шепелев В.В. Оценка наледного питания и наледного стока бассейнов рек Момы и Тихон-Юрях (притоки р. Индигирки) // Геокриол. и гидрогеол. исследования Сибири. Якутск: Якутское книжное изд-во, 1972. С. 187–190.
9. Толстухин О.Н. Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука, 1974. 164 с.
10. Швецов П.Ф. Подземные воды Верхояно-Колымской горно-складчатой области и особенности их проявления, связанные с низкотемпературной вечной мерзлотой. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 279 с.
11. Клещев Г.К. Наледи и неотектоника Северо-Восточного Приколымья // Тр. Воронежского ун-та. 1963. Т. 62. С. 201–209.
12. Толстухин О.Н. Наледи и неотектоника Северо-Восточной Якутии // Советская геология. 1966. № 8. С. 106–127.
13. Корейша М.М. Региональный анализ генезиса и развития наледей // Исследования мерзлых грунтов в районах освоения. М.: Стройиздат, 1987. С. 49–57.
14. Катасонов Е.М. Переуглубленные ледниковые долины и их значение в образовании крупных многолетних наледей // Материалы IV совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. Иркутск–Владивосток, 1964. С. 71–76.
15. Шейнкман В.С., Некрасов И.А. Приледниковые наледные явления горной системы Черского // Гидрогеологические условия мерзлой зоны. Якутск: Якутское книжное изд-во, 1976. С. 86–96.
16. Шейнкман В.С., Некрасов И.А. Наледи приледниковой зоны гор Восточной Сибири // Общее мерзлотоведение. Новосибирск: Наука, 1978. С. 151–156.
17. Некрасов И.А. Современное оледенение и наледы // Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. С. 25–30.
18. Пигузова В.М., Толстухин О.Н. Некоторые вопросы исследования наледей // Мерзлотно-гидрогеотермические и гидрогеологические исследования на Востоке СССР. М.: Наука, 1967. С. 30–40.
- Icing Studies. Novosibirsk: Nauka, 1991: 90–95. [In Russian].
5. Sokolov B.L. Fields of icing characteristics. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1986, 55: 133–147. [In Russian].
6. Shepelev V.V. *Nadmerzlotnye vody kriolitozony*. Suprapermafrost waters in the cryolithozone. Novosibirsk: Academic Publishing House “Geo”, 2011: 169 p. [In Russian].
7. Kravchenko V.V., Gizetdinov A.M., Chernykh O.A. Icing systems of river basins as a result of surface and ground water interaction. *Problemy naledovedeniya*. Problems in Icing Studies. Novosibirsk: Nauka, 1991: 66–76. [In Russian].
8. Shepelev V.V. Estimation of icing recharge and discharge in the basins of the Moma and Tikhon-Yuryakh rivers (Indigirka tributaries). *Geokriologicheskie i gidrogeologicheskie issledovaniya Sibiri*. Geocryological and hydrogeological studies in Siberia. Yakutsk, 1972: 187–190. [In Russian].
9. Tolstikhin O.N. *Naledi i podzemnye vody Severo-Vostoka SSSR*. Icings and groundwater in the North-Eastern USSR. Novosibirsk: Nauka, 1974: 164 p. [In Russian].
10. Shvetsov P.F. *Podzemnye vody Verkhoyano-Kolymskoy gor-no-skladchatoy oblasti i osobennosti ikh proyavleniya, svyazannye s nizkotemperaturnoy vechnoy merzlotoy*. Groundwater in the Verkhoyansk-Kolyma fold mountain region and its manifestations related to cold permafrost. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1951. 279 p. [In Russian].
11. Kleshchev G.K. Icings and neotectonics of the north-eastern Kolyma region. *Trudy Voronezhskogo Universiteta*. Proc. of the Voronezh University. 1963, 62: 201–209. [In Russian].
12. Tolstikhin O.N. Icings and neotectonics of north-eastern Yakutia. *Sovetskaya Geologiya*. Soviet Geology. 1966, 8: 106–127. [In Russian].
13. Koreysa M.M. Regional analysis of icing origin and development. *Issledovaniya merzlykh gruntov v rayonakh osvoeniya*. Frozen ground studies in the areas under development. Moscow, 1987: 49–57. [In Russian].
14. Katasonov E.M. Overdeepened glacial valleys and their role in the formation of large perennial icings. *Materialy IV soveshchaniya po podzemnym vodam Sibiri i Dal'nego Vostoka*. Proc. of the IV Conf. on Groundwater in Siberia and Far East. Irkutsk–Vladivostok, 1964: 71–76. [In Russian].
15. Sheinkman V.S., Nekrasov I.A. Icing phenomena in proglacial areas of the Chersky Mountain System. *Gidrogeologicheskie usloviya merzloy zony*. Hydrogeological conditions in the frozen zone. Yakutsk, 1976: 86–96. [In Russian].
16. Sheinkman V.S., Nekrasov I.A. Icings in the proglacial zone of East Siberian mountains. *Obshchee merzlotovedenie*. General Geocryology. Novosibirsk: Nauka, 1978: 151–156. [In Russian].
17. Nekrasov I.A. Modern glaciation and icings. *Merzlotno-gidrogeologicheskie usloviya Vostochnoy Sibiri*. Permafrost and hydrogeological conditions in East Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1984: 25–30. [In Russian].
18. Piguzova V.M., Tolstikhin O.N. Some issues of icing research. *Merzlotno-gidroteplicheskie i gidrogeologicheskie issledovaniya na vostokey SSSR*. Permafrost hydrogeothermal and hydrogeological investigations in the East of USSR. Moscow: Nauka, 1967: 30–40. [In Russian].