

УДК 556.166

**Алексеев В.Р., д.г.н.,**

*Сибирское отделение института географии РАН, Иркутск, Россия*

**Бояринцев Е.Л., к.г.н., Гопченко Е.Д., д.г.н., Кирилюк Р.В.**

*Одесский государственный экологический университет, Украина*

## **ВЛИЯНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ РАЗМЕРОВ АНМАНГЫНДИНСКОЙ НАЛЕДИ**

*Проанализированы многолетние колебания объёма Анмангындинской наледи в период её максимального развития. Исследовано влияние гидрометеорологических факторов на интенсивность наледных процессов.*

**Ключевые слова:** *Анмангындинская наледь, многолетняя мерзлота, гидрометеорологические факторы, тренд.*

**Введение.** Одной из наиболее ярких гидрологических особенностей водного режима рек континентальной части крайнего Северо – Востока России связано с наледными явлениями. Наледи представляют собой массивы льда, формирующиеся путём намораживания подземных, поверхностных и атмосферных вод на поверхности земли или льда. С гидрологической точки зрения, наибольшее значение имеют наледи подземных и речных вод, формирующихся в результате особого режима этих вод. Результаты многочисленных исследований, проведённые в различных регионах планеты, показали, что в последнее время в связи с глобальным потеплением, происходит интенсивная деградация многолетних льдов (ледников в различных горных регионах, арктических и антарктических льдов, покровных ледников). В отношении таких объектов, как наледи, исследования затруднены, поскольку наблюдения носят в основном эпизодический характер. В этом плане Анмангындинская наледь является исключением, поскольку измерения объёма в период максимального развития проводились здесь практически без перерыва на протяжении тридцати лет.

Расположена она в центральной части Магаданской области, в верхнем течении р. Колымы, в бассейне р. Анмангында (на современных картах Аннанмандя), которая является правым притоком р. Детрин, впадающей в р.Колыму. Длина наледи в период максимального развития достигает 7 км, средняя мощность около 1,8 м (при максимальной мощности до восьми метров). Климат суровый, резко континентальный. Средняя многолетняя годовая температура воздуха по данным метеостанции Усть – Омчуг, составляет около минус 11 °С, среднее количество осадков – около 300мм. Среднемноголетняя температура самого холодного месяца, января, ниже минус 36 °С, минимальная опускается до -60 °С. Следствием суровости климата является повсеместное распространение многолетнемерзлых пород, мощность которых по исследованиям Калабина [3] составляет от 150 – 200 метров под днищами долин до 500 – 600 метров - под горными сооружениями.

**Объект исследования.** Наблюдения за режимом наледи организованы Колымским УГКС в 1962 году, для чего была создана специальная гидрографическая партия, которая просуществовала до 1977 г. В дальнейшем наблюдения производились с небольшими перерывами силами сотрудников гидрометстанции Усть – Омчуг (до 1992 года), причём определялся только максимальный объём наледи.

Программа включала гидрологические наблюдения в створе р.Анмангында – 159 км. Гидрометрический створ расположен в 500 м ниже наледной поляны, водосборная площадь составляет 376 км<sup>2</sup>. В начале наледной поляны, в 500 м ниже

впадения руч. Слопцевого на абсолютной отметке около 740 м, находятся источники, питающие наледь. Они приурочены к району резкого уменьшения уклона русла и связанному с этим сменой гранулометрии ложа долины. Наличие источников обусловлено разгрузкой надмерзлотного талика, расположенного под руслами р. Анмангынды и руч. Слопцевого. Поверхность водосбора выше источников (площадь 205 км<sup>2</sup>) полностью сложена каменными осыпями, редкостойный лиственничный лес тянется только узкой полосой вдоль основного русла. В продолжительные бездождные периоды объём талика постоянно восполняется, поскольку питание водотоков в такие периоды обеспечивается за счёт криогенного перераспределения стока между сезонами. Летом источники разгружаются в русло субаквально и проявляются выше уреза воды только в позднесенний период, после устойчивого перехода к отрицательным среднесуточным температурам воздуха (конец сентября – первая декада октября), прекращения склонового притока и перехода водотока на подземное питание.

На рис. 1 приведён многолетний ход объёмов наледи в период её максимального развития.

**Целью работы** является выявление основных климатических показателей, определяющих формирование размеров наледного тела.

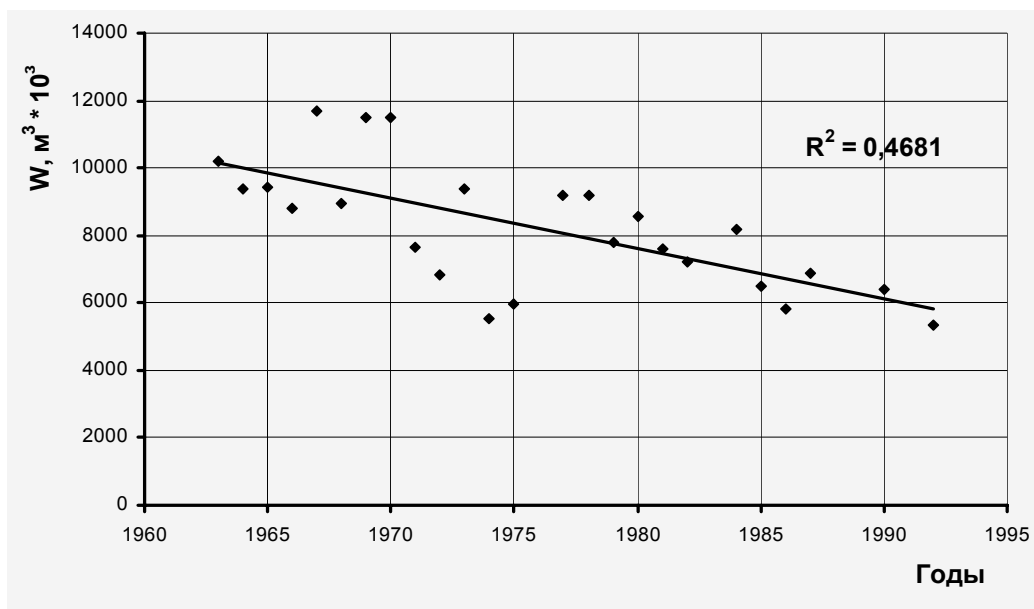


Рис. 1 - Многолетний ход максимальных объёмов Анмангындинской наледи (1962 – 1992 гг.)

Наибольший объём наледного тела достигал  $11680 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  в 1967 году, наименьший -  $5330 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  - в 1974 и 1992 гг. Таким образом, за тридцатилетний период максимальный за год объём наледи сократился вдвое.

**Материалы и основные результаты исследований.** Как отмечает Б.Л.Соколов [7], всё многообразие природных факторов наледообразования целесообразно разделить на две основные группы – внутренние и внешние. Первая группа факторов отражает характер подстилающей поверхности и определяет гидродинамическую обстановку наледообразования. Для наледей подземных вод это главным образом геолого – тектонические и мерзлотно – гидрологические условия. Для каждой наледи факторы подстилающей поверхности сравнительно устойчивы на протяжении длительного времени. Поэтому изменение от года к году размеров наледных тел

определяется в основном многолетними колебаниями элементов гидрометеорологической обстановки.

Многолетняя изменчивость основных климатических характеристик – среднегодовой температуры воздуха и годового количества осадков, исследована по данным наблюдений на ближайшей метеостанции в пос. Усть – Омчуг, расположенной в двадцати километрах от наледи.

За пятидесятилетний период (с 1956 по 2006 гг.) среднегодовая температура воздуха возросла на  $1,8^{\circ}\text{C}$  (от  $-11,4$  до  $-9,7^{\circ}\text{C}$ ), а среднегодовое количество осадков – почти на 100 мм (от 270 мм до 365 мм).

В процессе дальнейшего анализа были исследованы многолетние ряды среднемесячных значений температуры воздуха и количества осадков в отдельности за каждый месяц внутри года, что позволило установить сезоны с наибольшими климатическими изменениями.

Расчёты выполнялись соответствии с рекомендациями [6]. Значимость линейных уравнений регрессии рассматриваемых гидрометеорологических характеристик во времени  $Y = f(t)$ , где  $t$  - время, сводится к оценке значимости коэффициентов корреляции  $R$ . При этом оценивается коэффициент корреляции  $R$  этих зависимостей по отношению к случайной средней квадратической ошибке  $\sigma_R$ , т.е.  $R/\sigma_R$ .

В качестве нулевой принималась гипотеза отсутствия статистически значимых трендов в ходе многолетних колебаний гидрометеорологических характеристик. Альтернативная гипотеза заключается в наличии статистически значимого тренда исследуемых величин и, следовательно, в нестационарности и неоднородности рассматриваемых гидрометеорологических величин во времени.

Средняя квадратическая ошибка коэффициента корреляции линейного тренда определялась по формуле:  $\sigma_R = (1 - R)^2 / \sqrt{(n - 1)}$ .

Установлено, что изменения климатических показателей внутри года происходят неодинаково. Наибольшее повышение среднемесячной температуры воздуха за период наблюдений отмечается в октябре (от  $-12,3^{\circ}\text{C}$  до  $-8,5^{\circ}\text{C}$ ) и в ноябре (от  $-28,5^{\circ}\text{C}$ , до  $-24,5^{\circ}\text{C}$ ), а также в марте (на  $3,8^{\circ}\text{C}$ ), в апреле и мае - на  $2^{\circ}\text{C}$ . В остальные месяцы направленных многолетних значимых изменений не отмечено.

Значимый положительный тренд в рядах месячных сумм осадков отмечен в марте, июне, августе, октябре и в ноябре.

Результаты статистического анализа приведены в табл.1.

Анмангындинская наледь формируется за счёт выклинивания аллювиальных вод у верхней границы образования в виде незамерзающих источников с постоянно уменьшающимся к весне дебитом. По данным Букаева [2] и Лебедева [4,5], дебит источников сокращается с  $1,2 \text{ м}^3/\text{с}$  в начале октября, когда полностью прекращается склоновый приток и сток обеспечивается только за счёт разгрузки подрусловых таликов, до  $0,4-0,6 \text{ м}^3/\text{с}$  в январе и до  $0,2-0,3 \text{ м}^3/\text{с}$  - к концу зимы. В этот период в пределах наледной поляны консервируется объём воды, соответствующий разнице объёмов источников и стока, зафиксированного в гидрометрическом створе Анмангында – 159 км, расположенном ниже наледной поляны. По данным многолетних наблюдений, сток здесь прекращается в начале декабря, и с этого момента весь дебит источников расходуется на формирование наледного тела. Поскольку наибольший дебит источников приходится на осенне-зимний период, можно предполагать, что колебания метеорологических факторов оказывают существенное влияние на интенсивность нарастания объёма наледи. Иными словами, чем сильнее будет выхолаживание наледной поляны осенью и ранней зимой, тем интенсивнее будет нарастание льда и меньше воды уйдёт транзитом за её пределы.

Основными факторами терморегуляции подстилающей поверхности в осенне – зимний период являются температура воздуха и снежный покров.

Таблица 1 - Уравнения линейных трендов температур воздуха и осадков за период с 1956 по 2006 гг. (по данным гидрометстанции Усть – Омчуг)

№	Величина	Уравнение тренда	R <sup>2</sup>	R	σ <sub>R</sub>	2σ <sub>R</sub>
<b>ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА, t °C</b>						
1	Среднегодовая	0,0389t-87,561	0,2703	0,5199	0,1280	0,256
2	Октябрь	0,0631t -135,46	0,1100	0,3321	0,1549	0,3098
3	Ноябрь	0,0952t-209,94	0,1573	0,3966	0,1467	0,2921
4	Март	0,0803t - 181,71	0,1987	0,445758	0,114471	0,228943
5	Апрель	0,0593t - 127,87	0,1301	0,360694	0,124271	0,248543
6	Май	0,0373t - 71,354	0,0938	0,306268	0,135254	0,270507
<b>ОСАДКИ, X, мм</b>						
1	За год	1,7336X- 3118	0,1501	0,387427	0,145755	0,291511
2	Октябрь	0,0688X- 146,84	0,1154	0,339706	0,148819	0,307978
3	Ноябрь	0,0911X - 207,21	0,1451	0,380921	0,153989	0,297638
4	Сумма за октябрь и ноябрь	0,7007X-1345	0,2285	0,478017	0,13231	0,26462
5	Март	0,1519X - 293,45	0,1363	0,369188	0,123386	0,24677
<b>СТОК р. АНМАНГЫНДА- 159 км, Q., м<sup>3</sup>/с.</b>						
1	Средний расход за ноябрь	0,0114Q-22,037	0,1421	0,377	0,147127	0,2943
<b>МАКСИМАЛЬНЫЙ ОБЪЁМ ТЕЛА НАЛЕДИ, W м<sup>3</sup></b>						
1	Максимальный объём тела наледи	-0,3526W +715,9	0,4681	0,684178	0,10638	0,21276

Небольшой слой снега способствует интенсивному выхолаживанию наледной поляны, мощный снежный покров, наоборот, является теплоизолятором, препятствующим быстрому промерзанию, и способствует транзиту воды источников за пределы наледного поля. Роль снега, как теплоизолятора, подробно рассмотрена в работе [1]. В то же время между среднемесячной температурой воздуха и количеством осадков существует достаточно тесная прямая корреляционная связь, поэтому использование в качестве предиктора одной из этих величин, косвенно учитывает и другую.

На рис.2 приведена зависимость среднего за ноябрь расхода воды р.Амнамгында – 159 км от суммы твёрдых осадков в октябре и ноябре. В среднем расход изменяется от 0,2 м<sup>3</sup>/с при отсутствии осадков, до 0,7 м<sup>3</sup>/с - при сумме осадков более 80 мм.

Следовательно, чем больше сумма осадков в октябре и ноябре, тем большее количество воды уйдёт за пределы наледной поляны, и, соответственно, меньшим будет объём тела наледи в период его максимального развития. Действительно, объём наледи весной 1969 года составлял 11680·10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>, при этом сумма осадков за октябрь и ноябрь предшествующего года была рекордно низкой – всего 2,1 мм. Весной 1973 года максимальный объём наледного тела достиг всего 5540·10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>, в то же время осенью

предшествующего года зафиксировано максимальное количество осадков (более 80 мм).

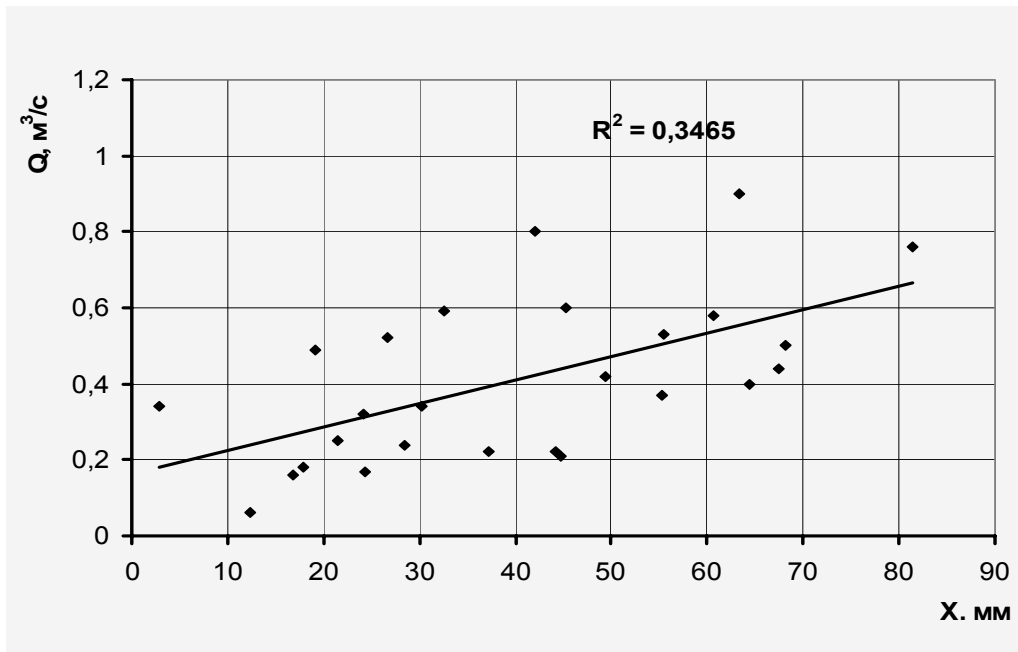


Рис. 2 - Зависимость среднего за ноябрь расхода воды р. Анмангында – 159 км от суммы твёрдых осадков в октябре и ноябре

На рис.3 показана зависимость объёма наледи в период её максимального развития, от суммы осадков в октябре и ноябре предшествующего года.

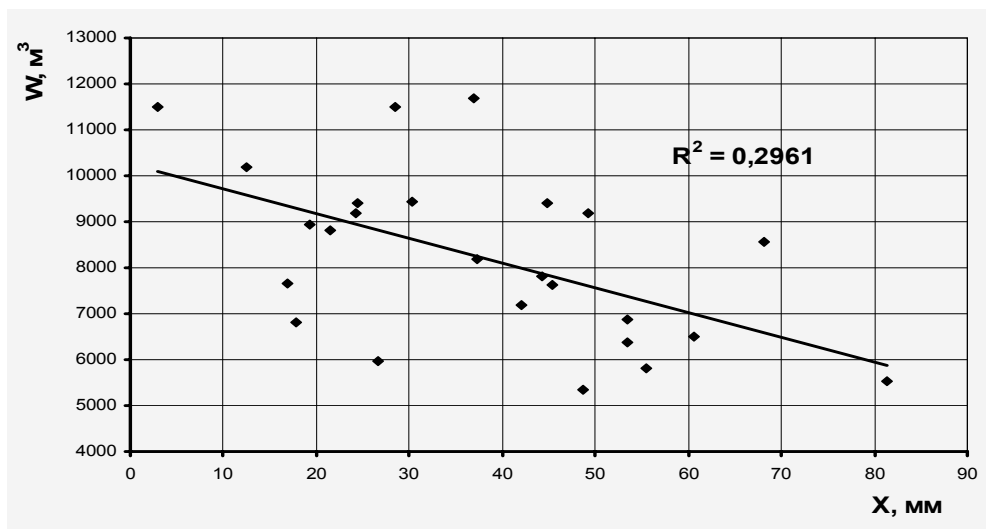


Рис. 3 - Зависимость объёма Анмангындинской от суммы осадков в октябре и ноябре предшествующего года

Наличие такой зависимости позволяет предположить, что многолетние направленные изменения метеорологических характеристик естественным образом отразятся на интенсивности процесса наледообразования.

Промежуток времени с 1961 по 1992 гг., когда осуществлялись наблюдения за наледью, совпал с периодом наиболее интенсивного изменения режима среднемесячных температур и сумм осадков в октябре и ноябре (рис.4).

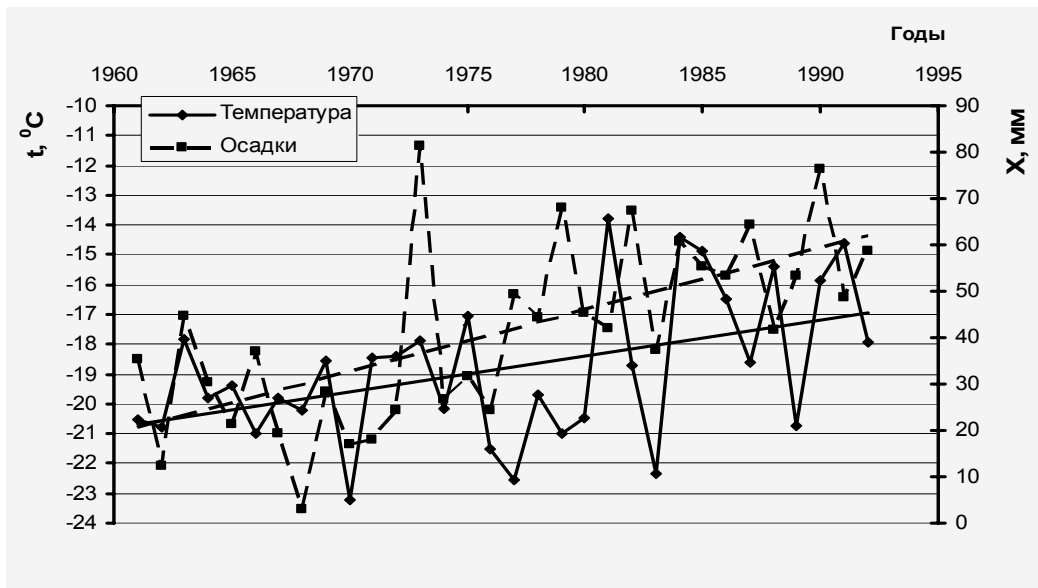


Рис.4 - Изменение средней за октябрь и ноябрь температуры воздуха и суммы осадков 1961 – 1992 гг.

В среднем за это время температура повысилась на  $3,8^{\circ}\text{C}$  (от  $-20,8^{\circ}\text{C}$  до  $-17^{\circ}\text{C}$ ) а количество осадков – на 40 мм (с 20 до 62 мм), что привело к направленному возрастанию оттока воды за пределы наледного поля в ноябре от  $0,2$  до  $0,7\text{ м}^3/\text{с}$ .

Для рядов среднемесячной температуры и суммы осадков за октябрь и ноябрь значения удвоенной средней квадратической погрешности коэффициента корреляции меньше самого коэффициента корреляции. Таким образом, линейные тренды в ходе многолетних колебаний этих величин значительно отличаются от нуля. Такое же соотношение выдерживается и для многолетнего ряда средних за ноябрь расходов воды (рис. 5).

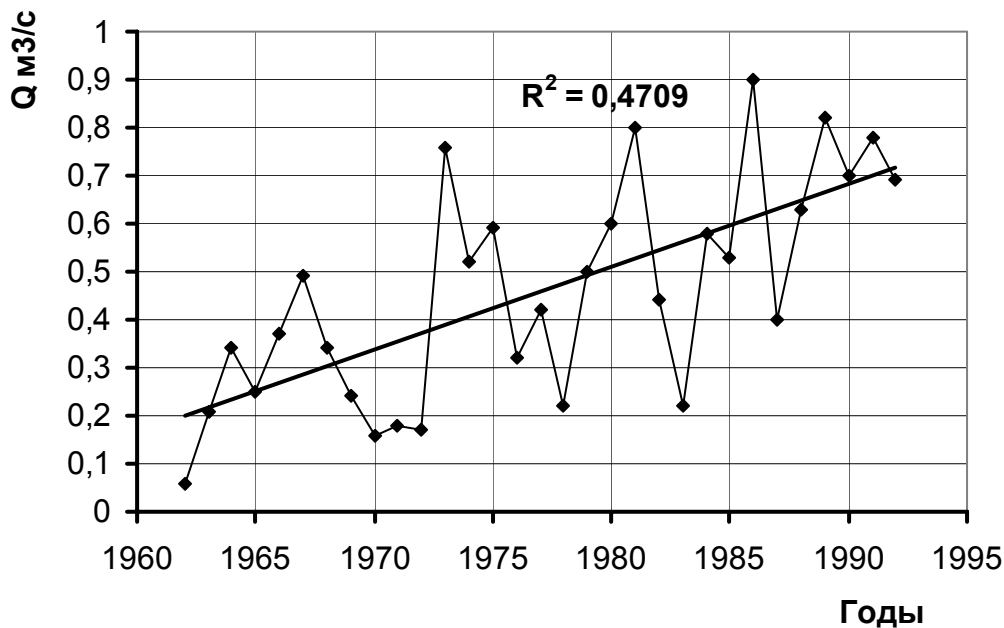


Рис. 5 - Многолетний ход средних за ноябрь расходов воды р. Анмангында – 159 км

**Выводы.** В рядах многолетних величин температур воздуха и осадков установлены статистически значимые линейные тренды. Направленные изменения в рядах годовых величин температуры в основном обусловлены наличием трендов в рядах среднемесячных значений за октябрь, ноябрь и март, а в рядах годовых величин осадков – трендами в рядах среднемесячных значений за октябрь и ноябрь.

Установленное изменение климатических характеристик определяет интенсивность нарастания наледного тела в осеннее – зимний период и приводит к деградации наледи. В качестве основного показателя изменений климата для дальнейших исследований рекомендуется использовать величины изменений температур воздуха и осадков за октябрь и ноябрь по данным наблюдений гидрометстанции Усть – Омчуг.

### Список литературы

- 1.Алексеев В.Р. Наледи Сибири и Дальнего Востока. – В кн.: Сибирский географический сборник. - №8. – Новосибирск. – Наука. – 1974. - С. 5-69.
- 2.Букаев Н.А. Основные закономерности режима гигантских наледей в верховьях р.Колымы (на примере Анмангындинской наледи). - «Колыма». - 1966,- № 4. - С. 9-21.
- 3.Калабин А.И. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо – Востока СССР.- Магадан. – 1960. - Труды ВНИИ – 1. - Т. 18. - Вып. 20. - 470 с.
- 4.Лебедев В.М. Стационарные наблюдения за наледью в бассейне р.Анмангынды. – Сб. работ Магаданской ГМО. – 1969. -Вып. 2. - С. 122- 138.
- 5.Лебедев В.М., Ипатьева А.И. Анмангындинская наледь, её режим и роль в водном балансе речного бассейна. - Труды ДВНИГМИ. – 1980. -Вып. 84,- С.86-93.
- 6.Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным– Санкт Петербург.: ГГИ.- 2010. – 161 с.
- 7.Соколов Б.Л. О влиянии гидрометеорологических факторов на формирование наледей подземных вод. – Труды ГГИ. - Вып. 257. - Вопросы гидрологии БАМ. - Л.: Гидрометеоздат. – 1980.- С. 74 – 90.

#### **Багаторічна динаміка розмірів Анмангіндинської наледі в умовах змін клімату.**

**Алексеев В.Р., Бояринцев Е.Л., Гопченко Е.Д.**

*Досліджені багаторічні коливання об'єму Анмангіндинського полюю в період його максимального розвитку. Досліджена багаторічна мінливість гідрометеорологічних чинників, що визначають інтенсивність процесів полюю.*

**Ключові слова:** Анмангіндинський полюю, багаторічна мерзлота, гідрометеорологічні фактори, тренд.

#### **Long-term dynamics of Anmangindinsky ice mound sizes in the conditions of climate changes.**

**Alekseev V.R., Bojarincev E.L., Gopchenko E.D.**

*Long-term vibrations of Anmangindinsky ice mound sizes in the period of its maximal development are explored. Long-term changeability of hydrometeorological factors determining intensity of ice mound processes is explored.*

**Keywords:** Anmangindinsky ice mound, permafrost, hydrometeorological factors, trend.