

2. Bueno, L. O., Anjinho, P. D. S., Bolleli, et al. (2022). Erosion susceptibility mapping in the Central-Eastern Region of São Paulo in the last few decades. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194 (12), 927. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10632-5>.

3. Zucca, C., Fleiner, R., Bonaiuti, E., Kang, U. (2022). Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms. *Catena*. 219. 106575. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106575.

4. Изменение химических и микробиологических свойств почвы при антропогенном воздействии в полевом севообороте / N.A. Selezneva, A.G. Tishkova, T.N. Fedorova i dr. // *Dostizheniia nauki i tekhniki APK*. – 2020. – Т. 34. – No. 6. – S. 5-10.

5. Singh, S., Singh, J., Kandoria, A., et al. (2020). Bioconversion of different organic waste into fortified vermicompost with the help of earth-

worm: A comprehensive review. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 9 (4), 423-439. DOI: 10.30486/ijrowa.2020.1893367.1037.

6. Mezhevoval A. S. Prakticheskoe primenenie osadka stochnykh bytovykh vod na primere vozde-lyvaniia saflora krasilnogo // *Melioratsiia i gidrotekhnika*. – 2022. – Т. 12. – No. 2. – S. 53-67.

7. Obzor aktivnykh metodov biologicheskoi pererabotki organicheskikh otkhodov / A.D. Gorb-enko, M.A. Kaplan, E.P. Sevostianova i dr. // *Zem-ledelie*. – 2023. – No. 3. – S. 36-40.

8. Urionabarrenetxea, E., Garcia-Velasco, N., Anza, M., et al. (2021). Application of in situ bioremediation strategies in soils amended with sewage sludges. *The Science of the Total Environment*, 766, 144099. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144099>.



УДК 631.674.2

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-229-11-44-49

М.И. Лоскин

M.I. Loskin

ОСОБЕННОСТИ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ

FEATURES OF INUNDATION IRRIGATION IN YAKUTIA

Ключевые слова: лиманное орошение в Якутии, изменение климата, многолетнемерзлые грунты, тепловой режим почвы.

Лиманное орошение в Якутии в отличие от других регионов РФ имеет свои особенности. Гидрологический режим и гидрографические характеристики малых рек позволяют проводить орошение один раз в год паводковыми водами по мерзлой или частично оттаявшей почве. Отвод воды на орошаемые территории производится без механического подъема гидротехническими сооружениями, построенными в руслах рек, с последующим возвратом оросительной воды обратно в реку вниз по течению. Одними из особенностей при орошении лиманов являются специфичность природных условий, связанная наличием многолетнемерзлых грунтов, геоморфологическими особенностями агроландшафтов (аласов), а также влияние многолетней мерзлоты на тепловой режим почв в условиях короткого вегетационного периода. Опыт лиманного орошения показывает, что несмотря на зону рискованного земледелия применение данного способа орошения позволяет увеличить урожайность культур в 2-3 раза. Проведенные полевые исследования и анализ метеорологических условий показывают влияние изменения климата на тепловой

режим почв лиманных лугов в Якутии. Так, анализ гидрометеорологических данных и обеспеченности территории влагой за последние 55 лет показывает повышение температуры атмосферного воздуха до 4°C, увеличение суммы атмосферных осадков до 15 мм и дефицита увлажнения за вегетационный период до 70 мм на исследуемой территории. Исследования температурного режима почв показывают увеличение активного слоя почв. При этом относительно низкие показатели увеличения оттаивания на орошаемых почвах по сравнению с неорошаемыми позволяют сделать вывод о снижении влияния климатического потепления на оттаивание грунтов при лиманном орошении.

Keywords: inundation irrigation in Yakutia, climate change, permafrost soils, soil thermal regime.

Inundation irrigation in Yakutia compared to other regions of the Russian Federation has its own features. The hydrological regime and hydrographic characteristics of small rivers allow irrigating once a year with flood waters on frozen or partially thawed soil. Water is diverted to irrigated areas without pumping by hydraulic structures built in river beds with subsequent return of irrigation water back to the river downstream. One of the features in the inundation

irrigation is the peculiarity of the natural conditions associated with the presence of permafrost soils, geomorphological features of agricultural landscapes (drained lakes), and the effect of permafrost on the thermal regime of soils under the conditions of a short growing season. The experience of inundation irrigation shows that despite the zone of risk farming, the use of this irrigation method allows increasing crop yields 2-3 times. The conducted field studies and analysis of meteorological conditions show the impact of climate change on soil thermal regime in inundable meadows in Yakutia. The analysis of hydrometeorological

data and moisture availability over the past 55 years shows the increase of atmospheric air temperature up to 4°C, increase of precipitation amount up to 15 mm and moisture deficit during the growing season up to 70 mm in the study area. The studies of soil temperature regime show the increase of the active soil layer. Alongside, relatively low rates of increase of thawing in irrigated soils compared to non-irrigated soils allow concluding that the impact of climate warming on soil thawing under inundation irrigation is reduced.

Лоскин Михаил Иванович, к.т.н., докторант, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: melio_lmi@mail.ru.

Loskin Mikhail Ivanovich, Cand. Tech. Sci., doctoral degree applicant, Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after. A.N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, e-mail: melio_lmi@mail.ru.

Введение

Наиболее интенсивное развитие сельскохозяйственной мелиорации в Якутии приходится на 70-80-е годы прошлого столетия, когда было вовлечено в сельскохозяйственный оборот 121 тыс. га мелиорированных земель, в том числе 63 тыс. га орошаемых земель, из которых 33 тыс. га лиманного орошения. Удельный вес мелиорированных земель в составе сельхозугодий составлял 8,2%. На сегодняшний день в государственной собственности Республики Саха (Якутия) находятся 92 тыс. га мелиорированных земель, в том числе лиманного орошения – 24 тыс. га. Доля мелиорированных земель к общей площади сельхозугодий составляет 5,2%. Республика Саха (Якутия) в соответствии с Системой ведения сельского хозяйства [1] разделена на 6 сельскохозяйственных зон, из которых в 5 с учетом геоморфологических и гидрологических условий развито лиманное орошение.

На эффективность сельского хозяйства и мелиорации в Якутии, как и во всем мире, существенное влияние в последние годы оказывает изменение климата, которое влияет на водобеспечение мелиоративных агроландшафтов, теплофизические свойства и гидротермический режим почв. По прогнозам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), в ближайшие 20-30 лет рост температуры составит в среднем 0,2°C за десятилетие, а к концу XXI в. температура Земли может повыситься от 1,8 до 4,6°C, в том числе в России на территории криолитозоны в 2041-2060 гг. – на 1,9-3,3°C [2, 3]. Данные изменения климата особенно актуальны для агроэкосистем, располо-

женных на многолетнемерзлых грунтах и объектов, построенных на многолетней мерзлоте по I принципу.

Исходя из этого **целью** работы является исследование особенностей лиманного орошения в условиях Якутии.

Для реализации цели поставлены следующие **задачи**:

- рассмотреть гидрологический режим малых рек при лиманном орошении лугов;
- рассмотреть особенности систем лиманного орошения, режима лиманного орошения лугов;
- анализировать метеорологические условия Центральной Якутии за последние 55 лет;
- исследовать влияние изменения климата на тепловой режим почв лиманных лугов.

Объектом исследований является система лиманного орошения (далее – СЛО) Хоробутская Мегино-Кангаласского района Республики Саха (Якутия).

Методика исследований

Для детального проведения исследований изучена и проанализирована официальная документация по мониторингу за состоянием систем лиманного орошения с учетом гидрометеорологических данных. Выполнен анализ статистических данных по изменению климата, его влиянию на мелиоративные мероприятия и агроэкосистемы в зоне многолетней мерзлоты. Проведены стационарные полевые исследования температурного режима и слоя сезонного оттаивания на лиманных лугах и неорошаемом (контрольном) участке. Полевые исследования температуры почвы проведены по методике

РАСХН 1997 г. [4] влагомером почв Turoni TR 46908. Слой сезонного оттаивания измерялся металлическим штырем, диаметром 18 мм.

Результаты исследований и их обсуждение

В Якутии в отличие от других территорий орошение лиманов проводится один раз в год паводковыми водами малых рек в период весеннего половодья. Орошение производится один раз в год по мерзлой или частично оттаявшей почве в условиях короткого вегетационного периода. Это вызвано гидрологическим режимом и гидрографическими характеристиками малых рек, геоморфологическими особенностями агроландшафтов. Гидрологический режим малых рек весьма своеобразен. Сток начинается в первой декаде мая и во второй половине месяца достигает максимума. При этом сроки максимального половодья могут быть разными в зависимости от метеорологических параметров конкретного года. На долю весеннего стока приходится в среднем около 70-90% от годового. Для малых рек характерна маловодность, неустойчивость и изменчивость водного режима. Коэффициент вариации максимального стока весеннего половодья составляет 1,0-1,3 [5], в связи с чем лиманное орошение имеет ограниченное применение из-за незначительной гидрографической сети малых рек. Орошение лиманных систем предусмотрено отводом весенних паводковых вод малых рек посредством строительства регулирующих сооружений на орошаемые территории с последующим возвратом оросительной воды в реки вниз по течению. Отвод оросительной воды производится без механического подъема, что является немаловажным фактором себестоимости при строительстве и эксплуатации мелиоративных систем. Большинство систем являются раздельного или последовательного затопления. Отвод воды на орошаемые луга проводится посредством строительства регулирующего сооружения в русле реки с последующим отводом воды по оросительным каналам (без механического подъема) на раздельные лиманы, которые поддерживаются регулируемыми сооружениями (шлюзами-регуляторами). Гидротехнические сооружения на системах лиманного орошения состоят в основном из бетонных регулирующих сооружений на руслах малых рек, водоподпорных грунтовых плотин с бетонными шлюзами-регуляторами раздельных лиманов, подводящих и отводящих

оросительных каналов, эксплуатационных дорог и других сооружений.

Одной из особенностей лиманного орошения является то, что оно применяется в тех засушливых регионах Якутии, которые заняты в основном аласными ландшафтами. Аласы как специфические ландшафты представляют собой открытые пространства среди тайги, обычно в виде котловин с существующими или высохшими водоёмами. В этих котловинах формируются своеобразные почвы и растительность, расположенные концентрическими поясами вокруг водоёмов [6]. Особенности географического расположения (разбросанности) аласов требуют применения последовательного пропуска оросительной воды посредством строительства регулирующих сооружений (шлюзов-регуляторов). Оросительная вода используется многократно, поступая от верхнего лимана на последующие нижние. С учетом необходимой нормы орошения толщина слоя затопления задается так, чтобы запас воды покрыл все участки лимана. Исходя из этого, в аласных лиманах слой затопления получается неоднородным, что, по мнению П. П. Гаврильева, создает неоднородность водно-теплового режима почв по площади аласа. В результате рациональный гидротермический режим почв и относительно высокая урожайность (25-30 ц/га) наблюдаются только на 50-60% орошаемой площади аласа [7]. Как правило, при проектировании лиманных оросительных систем контуры одного аласного ландшафта принимаются за отдельный лиман. В целях экономии оросительной воды, экономической эффективности строительства и эксплуатации регулирующих сооружений строятся системы с наибольшим числом до 6-7 лиманов. При определении количества лиманов последовательного затопления учитываются сроки вегетации культур, так как при большом количестве последовательных лиманов затягиваются сроки опорожнения лиманов, особенно последних, в результате чего может произойти сокращение и без того короткого вегетационного периода. Поздние сроки вызывают необходимость повышения оросительных норм, могут привести к заболачиванию, сокращению сезоннооттаивающего слоя и снижению урожайности. Исходя из этого, количество последовательных многоярусных лиманов принимается с учетом конкретных условий: геоморфологических особенностей агроландшафтов, площади орошения, гидрологи-

ческого режима реки (водоисточника), режима орошения и т.д. Орошаемая площадь отдельных лиманов составляет от 100 до 1000 га. Длительность орошения достигает до 10-15 сут. без учета наполнения и опорожнения площадей. Норма орошения от 1000 до 3000 м³/га. При проведении всего комплекса культуртехнических и агротехнических мероприятий с залиманных угодий гарантированно можно заготавливать в среднем не менее 25-30 ц/га грубых кормов, тогда как средняя урожайность сенокосных угодий по республике на сегодняшний день составляет до 10 ц/га.

Для оценки влияния изменения климата на тепловой режим почв рассмотрены метеорологические данные, обеспеченность территории влагой, а также температурный режим активного слоя почвы за 1966-2022 гг.

Анализ метеорологических данных показывает повышение температуры атмосферного воздуха до 4°С и увеличение суммы атмосферных осадков до 15 мм на исследуемой территории. Расчет дефицита увлажнения за период вегетации с определением испаряемости по Н.Н. Иванову [8] с поправкой Н. В. Данильченко показывает аналогичную с повышением температуры воздуха тенденцию увеличения до 70 мм. При этом дефицит увлажнения в течение вегетационного периода свидетельствует о наибольших потребностях во влаге растениями в мае-июле (рис. 1).

Коэффициент увлажнения за вегетационный период, определенный как соотношение количества осадков и величины испаряемости, составляет 0,44, что показывает недостаточное увлажнение данной территории.

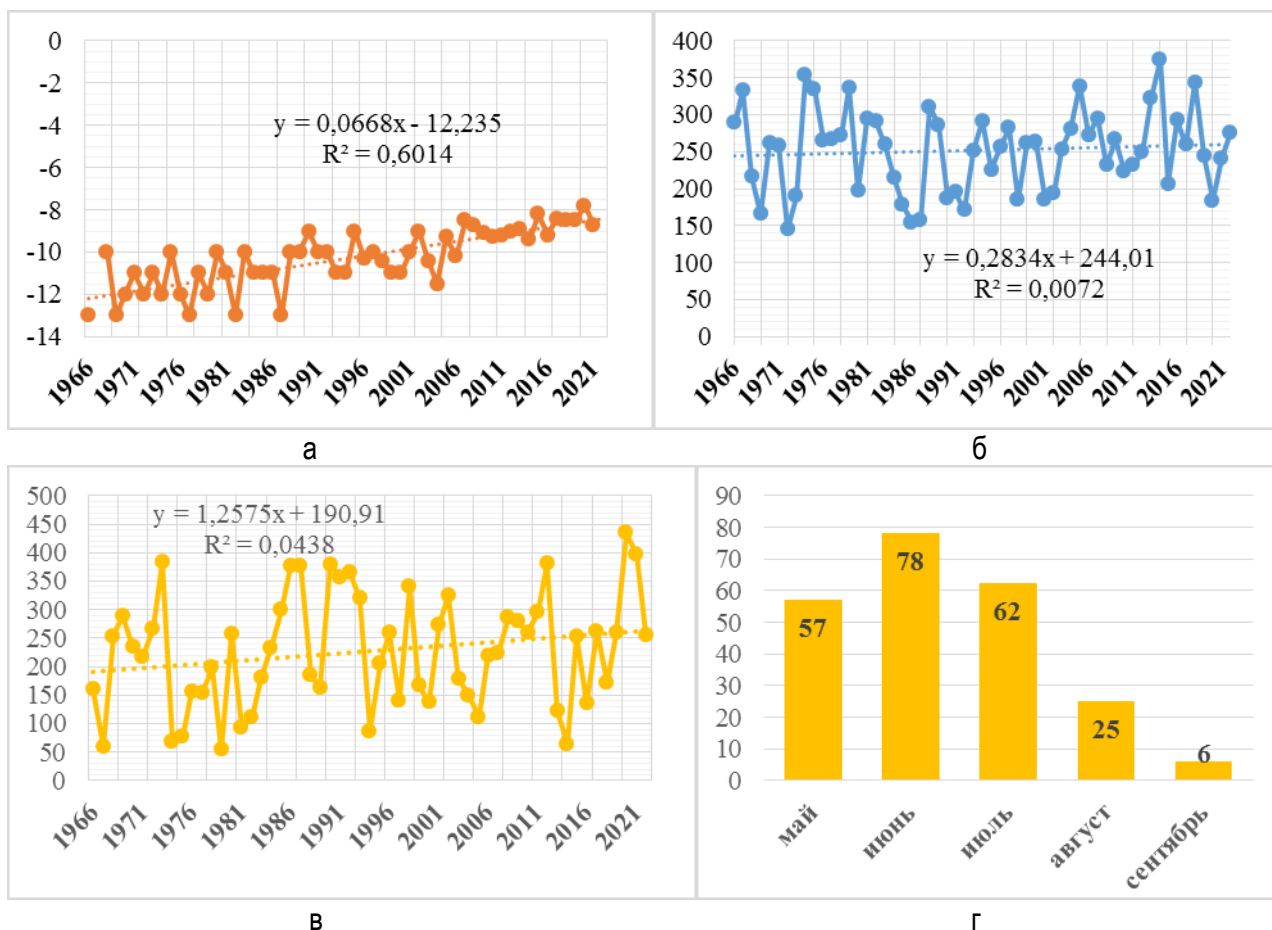


Рис. 1. Дефицит увлажнения в течение вегетационного периода за 1966-2022 гг.:

а – среднегодовая температура, °С; б – сумма осадков, мм;

в – дефицит увлажнения, мм; г – дефицит увлажнения за вегетационный период, мм

Активная температура +10°С в почве считается границей активных микробиологических и химических процессов. Для оценки влияния ли-

манного орошения на протаивание грунтов рассмотрено проникновение активной температуры +10°С в почву на орошаемых и неорошаемых

лугах в 1967 [7] и 2022 гг., которое рассмотрено по 3 следующим фазам:

- I фаза – до затопления лиманными водами (май);
- II фаза – после опорожнения лиманов (конец мая – начало июня);

– III фаза – период роста (созревания) культур (конец июня – август).

Граница изотермы +10°C в 1967 и 2022 гг., которая считается границей активных микробиологических и химических процессов, показана на рисунке 2.

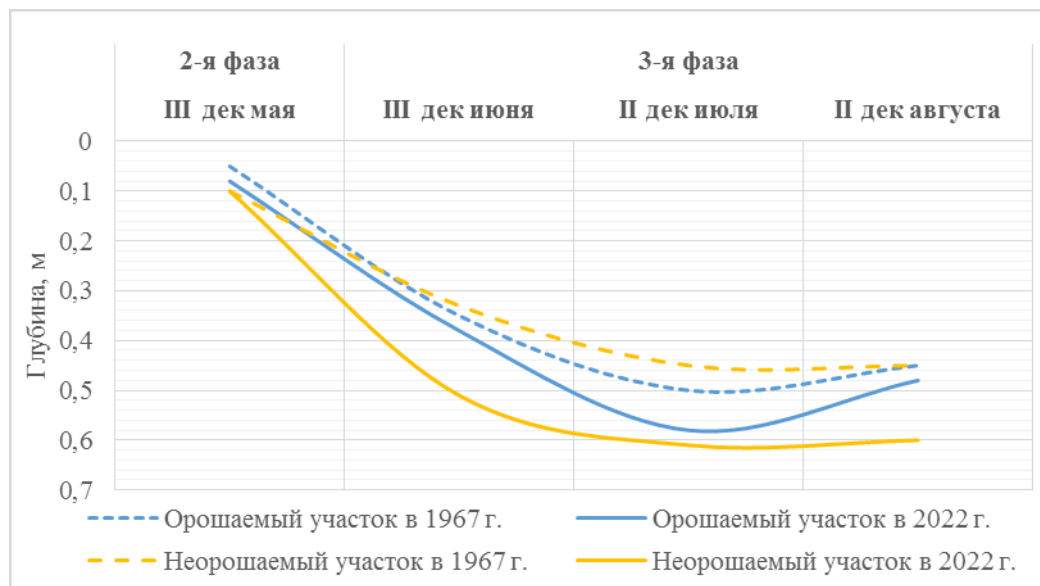


Рис. 2. Граница изотермы 10°C в 1967 и 2022 гг.

Граница активной температуры +10°C в 2022 г. на орошаемых лугах с III декады мая по II декаду июня проходит на 3-8 см глубже, чем это было в 1967 г. В 2022 г. максимальная глубина проникновения составляет 58 см, в 1967 г. – 50 см. Максимальных глубин 50-60 см температура +10°C по обоим наблюдаемым периодам достигает ко времени уборки трав в июле, далее со второй половины июля идет в верхние горизонты.

На неорошаемом (контрольном) участке граница изотермы +10°C в 2022 г. проходит до 16 см глубже, чем это было в 1967 г. В 2022 г. максимальная глубина проникновения составляет 61 см. В 1967 г. этот показатель составлял 45 см. Максимальных глубин 50-60 см температура +10°C по обоим наблюдаемым периодам достигает ко времени уборки трав в июле, далее со второй половины июля идет в верхние горизонты.

Результаты исследований, которые показывают относительно низкие показатели увеличения оттаивания на орошаемых почвах по сравнению с неорошаемыми за последние 55 лет, позволяют сделать вывод о снижении влияния

климатического потепления на оттаивание грунтов при лиманном орошении.

Выводы

Лиманное орошение в Якутии имеет ряд отличий от других регионов РФ, такие как орошение по мерзлой или частично оттаявшей почве в условиях короткого вегетационного периода паводковыми водами малых рек с отводом гидротехническими сооружениями на орошаемые территории без механического подъема, специфичность природных условий, связанная с наличием многолетнемерзлых пород и геоморфологическими особенностями агроландшафтов (аласов), а также влияние многолетней мерзлоты на водно-тепловой режим почв.

Несмотря на зону рискованного земледелия применение лиманного орошения позволяет увеличить урожайность культур в среднем в 2-3 раза.

Анализ метеорологических данных за последние 55 лет показывает потепление климата на исследуемой территории, отражающееся в повышении температуры атмосферного воздуха до 4°C и увеличении суммы атмосферных осадков до 15 мм. Расчет дефицита увлажнения за

период вегетации луговых трав отражает аналогичную с повышением температуры воздуха тенденцию увеличения до 70 мм. При этом наибольшие потребности во влаге растениями наблюдаются в мае-июле.

Исследования температурного режима мерзлотных почв показывают, что при лиманном орошении снижается влияние климатического потепления на оттаивание грунтов, так как увеличение активного слоя орошаемых почв за последние 55 лет составляет до 8 см, неорошаемых – до 16 см.

Библиографический список

1. Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2021-2025 годы: методические пособия / Министерство сельского хозяйства Республики Саха (Якутия), Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М. Г. Сафронова. – Белгород, 2021. – С. 49. – Текст: непосредственный.

2. Папцов, А. Г. Глобальная продовольственная безопасность в условиях климатических изменений: монография / А. Г. Папцов, Н. А. Шеламова. – Москва: РАН. – 2018. – С. 47-55, 125. – Текст: непосредственный.

3. Разумов, С. О. Оценка современных темпов деградации многолетнемерзлых пород, тенденций и последствий ее развития в XXI в. / С. О. Разумов. – Текст: непосредственный // Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия: материалы VIII Международной научной конференции (17-18 июня 2015 г.). – Часть 1. Естественные и технические науки. – North Charleston, SC, USA: CreatesSpace, 2015. – С. 39-43.

4. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / [подгот. Ю. К. Новоселов и др.]; Рос. акад. с.-х. наук. – Москва: РАСХН, 1997. – 156 с. – Текст: непосредственный.

5. Чистяков, Г. Е. Водные ресурсы рек Якутии / Г. Е. Чистяков. – Москва: Изд-во АН СССР, 1964. – 256 с. – Текст: непосредственный.

6. Барашкова, Н. В. Средообразующий потенциал луговых естественных фитоценозов аласа Бээди в условиях Центральной Якутии / Н. В. Барашкова, А. П. Аржакова, В. В. Устинова. – Текст: непосредственный // Кормопроизводство. – 2018. – № 1. – С. 13-17.

7. Гаврильев, П. П. Лиманное орошение лугов в Центральной Якутии / П. П. Гаврильев, А. А. Мандаров; ответственный редактор кандидат географических наук М. К. Гаврилова; АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т мерзлотоведения. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1976. – 165 с. – Текст: непосредственный.

8. Иванов, Н. Н. Об определении величин испаряемости / Н. Н. Иванов. – Москва: Изв. ГГО, 1954. – С. 189-196. – Текст: непосредственный.

References

1. Sistema vedeniia selskogo khoziaistva v Respublike Sakha (Iakutiia) na period 2021-2025 gody. Metodicheskie posobiia. Ministerstvo selskogo khoziaistva Respubliki Sakha (Iakutiia), Iakutskii nauchnyi tsentr Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, Iakutskii nauchno-issledovatel'skii institut selskogo khoziaistva im. M.G. Safronova. – Belgorod, 2021. – S. 49.

2. Paptsov, A. G. Globalnaia prodovol'stvennaia bezopasnost' v usloviakh klimaticheskikh izmenenii: monografiia / A. G. Paptsov, N. A. Shelamova. – Moskva: RAN, 2018. – S. 47-55, 125.

3. Razumov, S.O. Otsenka sovremennykh tempov degradatsii mnogoletnemerzlykh porod, tendentsii i posledstviu ee razvitiia v XXI v. // Prioritety mirovoi nauki: eksperiment i nauchnaia diskussiia: Materialy VIII mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii 17-18 iunია 2015 g. Chast 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – North Charleston, SC, USA: CreatesSpace, 2015. – S. 39-43.

4. Metodicheskie ukazaniia po provedeniuiu polevykh opytov s kormovymi kulturami / Ros. akad. s.-kh. nauk; [Podgot. Iu. K. Novoselov i dr.]. – Moskva: RASKhN, 1997. – 156 s.

5. Chistiakov, G. E. Vodnye resursy rek Iakutii. – Moskva, Izd-vo AN SSSR, 1964. – 256 s.

6. Barashkova N. V., Arzhakova A. P., Ustinova V. V. Sredoobrazuiushchii potentsial lugovykh estestvennykh fitotsenozov alasa Beedi v usloviakh Tsentralnoi Iakutii // Kormoproizvodstvo. – 2018. – No. 1. – S. 13-17.

7. Gavrilev, P. P. Limannoe oroshenie lugov v Tsentralnoi Iakutii / P. P. Gavrilev, A. A. Mandarov; otv. red. kand. geogr. nauk M. K. Gavrilova; AN SSSR, Sib. otd-nie, In-t merzlotovedeniia. – Novosibirsk: «Nauka». Sib. otd-nie, 1976. – 165 s.

8. Ivanov, N. N. Ob opredelenii velichin ispariaemosti / N. N. Ivanov. – Moskva: Izv. GGO, 1954. – S. 189-196.