

УДК 551.345 (571.55)
DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-7-17-25

ДИНАМИКА ОБРАЗОВАНИЯ НАЛЕДИ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

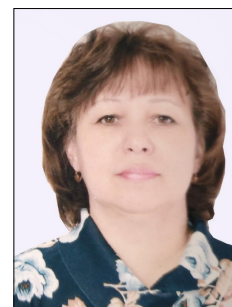
INVESTIGATION OF THE ICE FORMATION DYNAMICS UNDER THE CONDITIONS OF EASTERN TRANSBAIKALIA TERRITORY USING EARTH REMOTE SENSING DATA

В. В. Звягинцев,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
zchst@mail.ru



V. Zvyagintsev,
Transbaikal State University,
Chita

О. Ю. Звягинцева,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
zchst@mail.ru



O. Zvyagintseva,
Transbaikal State University,
Chita

На территории России ежегодно встречаются малые и крупные наледы. Они распространены на востоке России и являются одной из проблем Забайкальского края. В зимний период 2018–2019 гг. Читинский район Забайкальского края был наиболее активным по выходу наледей. *Объектом исследования* является наледь вблизи с. Смоленка Читинского района Забайкальского края. *Предмет исследования* – динамика образования наледей. *Целью работы* является исследование динамики образования наледей в условиях Восточного Забайкальского края для предупреждения их развития в чрезвычайную ситуацию. Для исследования процесса образования наледей данного объекта выбран *метод* изучения их по космическим снимкам со спутника Sentinel-2 с проверкой полученных данных *маршрутным методом*. Применение данного метода позволило установить изменение площади и динамику перемещения наледей в период 2016–2020 гг. Отмечено, что зимой 2020 г. зарегистрирован наиболее большой выход наледей за последние пять лет. Космические снимки со спутника Sentinel-2 показали, что на выбранном участке исследования в период с 2016 по 2019 гг. максимальные размеры наледей зафиксированы 18–21 марта, а начало формирования наледей 10–18 февраля. Во время проведения маршрутных исследований выявлено, что насаивание льда продолжалось с середины ноября по конец февраля, в результате 21 февраля 2020 г. возникла угроза подтопления жилых домов по ул. Луговая, в границах улицы введен режим «Чрезвычайная ситуация». Маршрутные исследования, проходившие во время проведения аварийно-восстановительных работ, подтвердили данные, полученные по космическим снимкам со спутника Sentinel-2. Погрешность измерений находилась в допустимых пределах. Установлено, что совместное применение дистанционного исследования космических снимков со спутника Sentinel-2 и маршрутного исследования позволяет более точно выявлять неблагоприятную динамику образования наледей, в том числе небольших, составлять прогнозы и оперативно предпринимать действия в случае возникновения чрезвычайных ситуаций

Ключевые слова: наледы, динамика, образование, космические снимки, маршрутные исследования, дистанционное зондирование, воздействие, опасное природное явление, чрезвычайная ситуация, наледный бассейн

Small and large ice masses are found annually on the territory of Russia. They are common in eastern Russia, and are one of the problems of the Transbaikal Territory. In the winter period of 2018–2019, the Chita region of the Transbaikal Territory was the most active in terms of icing. *The aim of the work* is to study the dynamics of ice formation in the conditions of the Eastern Transbaikal Territory in order to prevent their development in an emergency situation. *The object of the research* is the ice near the village Smolenka, Chita District, Transbaikal Territory. To study the process of ice formation in this area, a *method for studying ice from space surveys from the Sentinel-2 satellite* has been chosen with checking the data obtained by the route *method*. The application of this method enables to see the change in the area and the dynamics of the ice movement in the period 2016–2020. Satellite images from the

Sentinel-2 satellite have shown that in the selected study area during the period from 2016 to 2019, the maximum size of ice has been recorded on March 18-March 21, and the beginning of the ice formation – on February 10–18. During the route studies, it has been revealed that the ice layering lasted from mid-November to the end of February, as a result of this, on February 21, 2020, there was a threat of flooding of residential buildings on the street Lugovaya and the “Emergency” regime was introduced within the boundaries of this street. The route studies that took place during the emergency recovery operations confirmed the data, obtained from the satellite images from the Sentinel-2 satellite. The measurement error has been within acceptable limits. It is revealed that the combined use of remote sensing of space images from the Sentinel-2 satellite and route research allows more accurately identifying the unfavorable dynamics of ice formation, including small ones, making forecasts and promptly taking action in case of emergencies

Key words: ice, dynamics, education, space images, route studies, remote sensing, impact, natural hazard, emergency, ice pool

Введение. Наледи являются опасным природным явлением, они пагубно воздействуют на инженерные сооружения и оказывают влияние на природную среду, существенно влияют на гидрологическую и гидрогеологическую обстановку. Ежегодное формирование и разрушение наледей и подземных льдов сопровождается чередой особо опасных геодинамических явлений [1].

В мире встречается большое разнообразие наледей, которые отличаются размерами, формой, продолжительностью существования, расположением относительно поверхности Земли. Малые и крупные наледи, приносящие значительный экономический ущерб, ежегодно встречаются на территории России. Наиболее часто они распространены на востоке России и являются одной из проблем Забайкальского края [3].

Целью работы является исследование динамики образования наледи в условиях Восточного Забайкальского края для предупреждения их развития в чрезвычайную ситуацию.

Объектом исследования выбрана наледь вблизи с. Смоленка, поскольку большинство из перечисленных населенных пунктов находятся в Читинском районе.

Предмет исследования – динамика образования наледи.

Согласно данным многолетних наблюдений, на территории Забайкальского края зарегистрировано 87 мест выхода наледей в 23 районах. Под угрозу подтопления попадают 69 населенных пунктов, 19 дорог местного назначения (рис. 1).

К населенным пунктам Забайкалья, наиболее подверженным риску образования наледей, относятся:

- а) г. Чита (Песчанка, Кадала);
- б) с. Смоленка;
- в) с. Красный Чикой;

- г) с. Карповка;
- д) с. Кадала;
- е) с. Ключевский;
- ж) с. Могоча.

В зимний период 2018–2019 гг., Читинский район был наиболее активным по выходу наледей. В результате летнего наводнения в Читинском районе подтоплено 146 домов, 404 приусадебных участка, в опасной зоне оказалось 391 человек (в т. ч. 53 ребенка) [3]. Поэтому тема изучения образования наледей Восточного Забайкалья и в случае возникновения этой чрезвычайной ситуации ее ликвидации является *актуальной*.

Теоретическая и практическая части. Подразделяются наледи в зависимости от источника питания наледных вод на два класса: наледи поверхностных вод и наледи подземных вод. На территории Забайкалья выделены три наледных бассейна первого порядка:

- а) байкальский;
- б) амурский;
- в) ленский.

В пределах территории края в Байкальский бассейн входят два бассейна второго порядка: Хилокский и Чикойский. В Амурский наледный бассейн входят пять бассейнов второго порядка: Амазарский, Шилкинский, Ингодинский, Ононский и Газимур-Аргунский. В Ленский входят три наледных бассейна: Чарский, Витимский и Олекминский, которые также являются наледными бассейнами второго порядка [5].

Объект исследования относится к наледно-ледовому типу криогенных руслообразующих процессов [1]. Природные условия объекта исследования обеспечивают неустойчивость водного режима и благоприятны для формирования паводков, наледных процессов. По гидрологическому районированию р. Смоленка относится к Амурскому водосборному

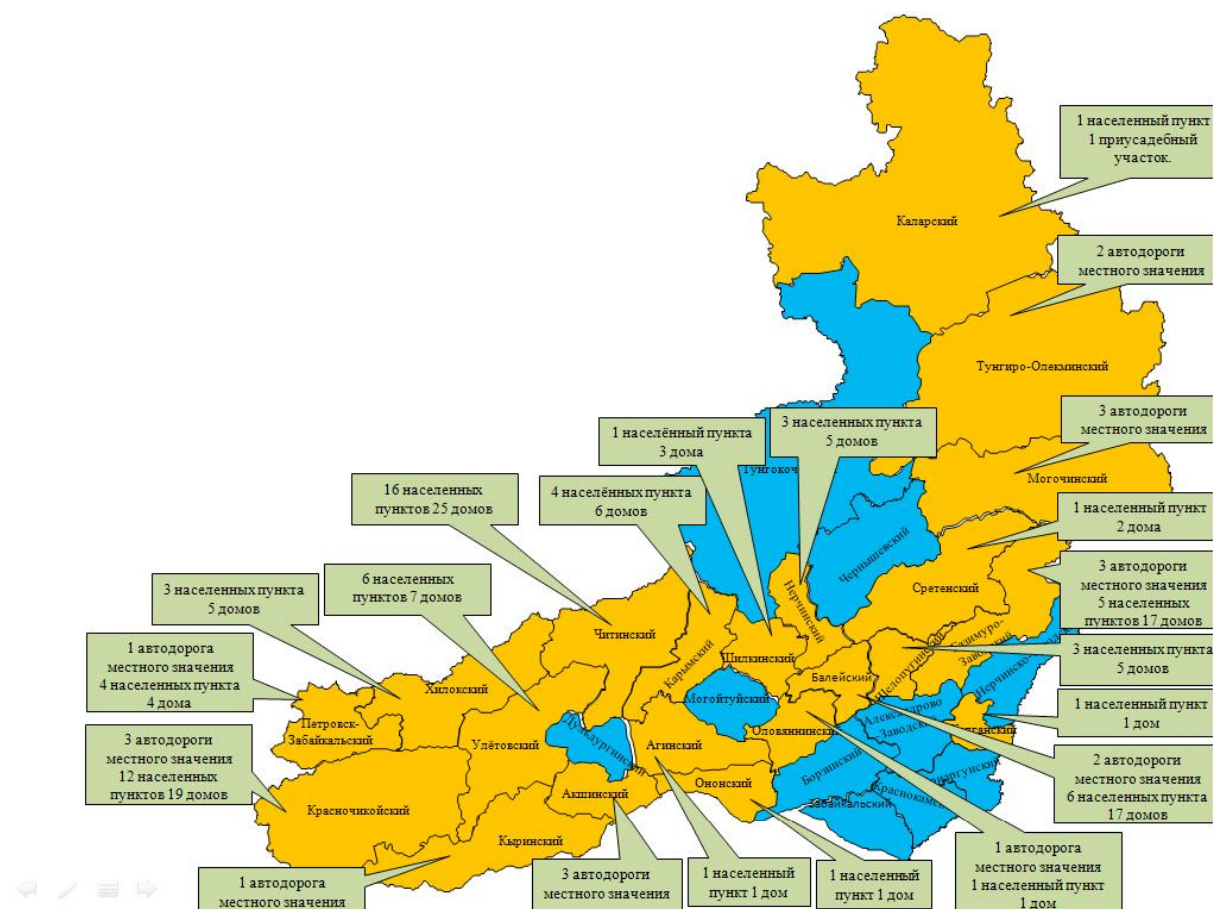


Рис. 1. Районы Забайкальского края, наиболее подверженные риску образования наледей /
Fig. 1. Areas of the Transbaikalian Territory most at risk of ice formation

бассейну Читино-Ингодинского среднегорного горно-таёжного района, где речной сток прекращается на длительное время. Развитая речная сеть и горный рельеф местности способствуют быстрому сбросу паводковых вод в русловую систему. Основным источником питания р. Смоленка служат атмосферные осадки (дождь) в летнее – осеннее время, а также подземные воды песчаных аллювиально – озерных отложений.

Методы полевых исследований наледей могут быть: наземные и дистанционные, каждый из которых имеет свои области применения. Наземные методы полевых исследований наледей подразделяются на маршрутные исследования (в составе ледомерных, мерзлотно-геологических, инженерно-гидрогеологических и других съемок), наледные съемки (площадные, линейные) и стационарные наблюдения (на площадках, полигонах).

Дистанционные методы полевых исследований наледей: аэровизуальные иссле-

дования; радиолокационное зондирование; аэрофотосъемка; космическая съемка [9; 11]. Широкое применение нашли дистанционные методы исследований. Они позволяют решать актуальные задачи в области обеспечения безопасности, предупреждения чрезвычайных ситуаций и устранения их последствий [7]. Местоположение и площадь наледей в основном находятся после схода снега по космоснимкам со спутников серии Landsat и/или Sentinel-2. Однако существуют проблемы при работе с космоснимками – отделение наледей от пойменных и термокарстовых озер [10], которые решаются маскированием водных объектов по снимкам летнего сезона или маршрутными исследованиями.

Спутник оснащен сенсором для съемок с разрешением 10...60 м в видимой ближней инфракрасной и коротковолновой инфракрасной зонах спектра (повторные съемки возможны каждые 2...3 дня в средних широтах) [4]. Использование бесплатного сервиса Sentinel

Playground позволило просматривать и анализировать комбинации изображений исследуемых территорий. Для оценки границ наледей использовали в основном съемки с нормализованным разностным водным индексом (NDWI), вычисляемым как (Band03) -NIR (Band08) / Green (Band03) + NIR (Band08), где B3 – зеленый спектральный диапазон, B8 – видимая и ближняя инфракрасная область (VNIR).

Для исследования процесса образования наледей данного объекта и ее динамики выбран метод изучения наледи по космическим съемкам со спутника Sentinel-2 L2A с проверкой полученных данных маршрутным методом.

Таким образом, в методику исследований входили сбор, анализ и обработка материалов инженерно-геологических исследований; дешифрование космических снимков; маршрутные исследования; анализ гидрометеорологических, климатических условий.

По более 100 космическим съемкам со спутника Sentinel-2 определены параметры наледей за 2016–2021 гг. Маршрутные исследования геометрических параметров наледей проводились в 2019–2020 гг. В качестве исходных данных использованы GPS координаты объектов исследования и обычные карты.

Результаты исследований и их анализ. Применение метода с изучением космических снимков со спутника Sentinel-2 позволило увидеть динамику изменения площади и перемещения наледи в период 2016–2021 гг. В 2016 г. наледь начала формироваться в феврале. В 2017 г. выход грунтовых вод и образование наледи отмечались с начала февраля, а максимальные размеры зафиксированы 18 марта. В 2018 г. наледь начала формироваться также в феврале (Sentinel-2 L2A, 18.02.2018 г., рис. 2),

наибольшую активность наледь проявила в марте, 20 марта она достигла своих максимальных размеров. В 2019 г. наледь начала формироваться с 18 февраля, максимальных размеров достигла 21 февраля, после 25 марта наблюдалось уменьшение размеров наледи. В середине ноября 2019 г. р. Смоленка полностью промерзла, что, возможно, повлияло на раннее появление наледи (Sentinel-2 L2A, 11.02.2020 г., рис. 3), максимальных размеров она достигла в начале марта 2020 г. В 2021 г. наледь начала формироваться также в феврале (Sentinel-2 L2A, 12.02.2021 г., рис. 4).

Космические снимки со спутника Sentinel-2 L2A показали, что на участке исследования с 2016 по 2021 гг. максимальные размеры наледи зафиксированы с 18 по 21 марта. Зимой 2020 г. зарегистрирован наибольший выход наледи за последние пять лет. По данным авторов [8], ритмичность формирования наледей объекта исследования соответствует короткопериодным климатическим ритмам, а в Забайкалье завершение десятилетнего климатического ритма наблюдалось в 1999 и 2009 гг. Таким образом, можно предположить, что в 2019 г. в связи с завершением климатического ритма настанет наибольшая активность наледей. Однако это произошло на год позднее – в 2020 г.

Для установления сдвига десятилетнего климатического ритма выполнен обзор литературы по уровневому состоянию подземных вод и количеству выпавших осадков в районе рассматриваемого объекта. Подземные воды в районе рассматриваемого объекта находятся в условиях неустановившейся фильтрации, а колебания их уровня поверхности – в прямой зависимости от водоотбора и климати-

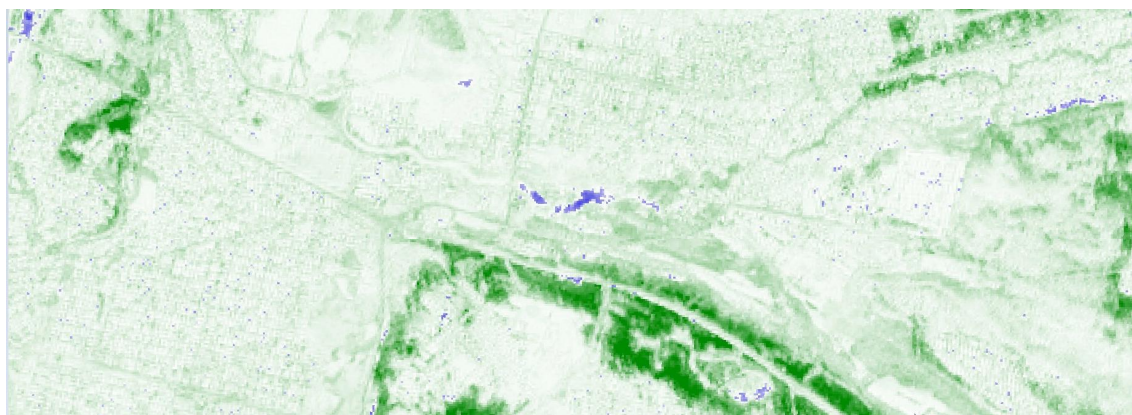


Рис. 2. Космоснимок наледи вблизи с. Смоленка со спутника Sentinel-2, февраль 2018 г. / Fig. 2. Satellite image of ice near the village Smolenka from the Sentinel-2 satellite, February 2018

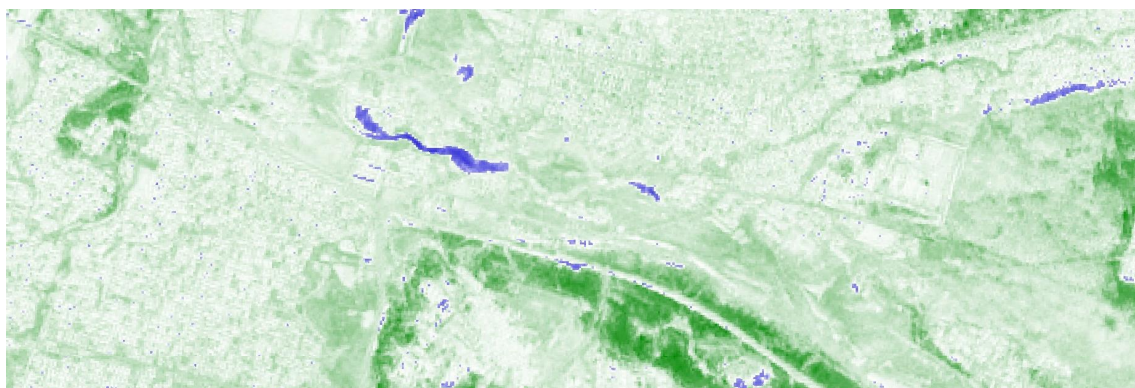


Рис. 3. Космоснимок наледи вблизи с. Смоленка со спутника Sentinel-2, февраль 2020 г. /
Fig. 3. Satellite image of ice near the village Smolenka from the Sentinel-2 satellite, February 2020

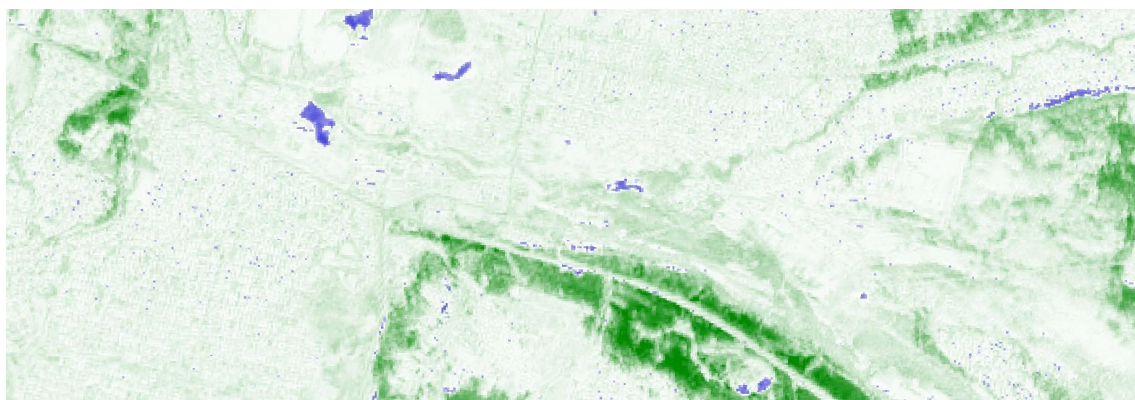


Рис. 4. Космоснимок наледи вблизи с. Смоленка со спутника Sentinel-2, февраль 2021 г. /
Fig. 4. Satellite image of ice near the village Smolenka from the Sentinel-2 satellite, February 2021

ческих факторов. Водоносный горизонт средне-верхнеплейстоценовых отложений имеет маломощную зону аэрации (высокая левобережная терраса р. Читинка прорезается долинами боковых притоков) и находится в тесной гидравлической связи с поверхностными водотоками. Нами выявлено, что за пятилетний период наблюдения среднегодовой уровень подземных вод существенно не отличался от предыдущих периодов.

На основе данных [6] построен график количества выпавших осадков за летний период 2015–2020 гг. и график изменения площади наледи в период 2016–2020 гг., по данным [4] (рис. 5).

По графикам видны последствия от дождей летнего периода 2018 г., при норме суммы осадков в июле 90 мм выпало 331 мм. На выбранном участке исследования наледь значительно увеличилась в своих размерах в начале 2019 г. и продолжила увеличиваться с ноября этого же года.

Авторами [2] отмечено, что при значительном увеличении количества летних осадков в течение нескольких лет и прочих равных условиях, их влияние на температурный режим может носить охлаждающий эффект. Следовательно, несмотря на несущественные отличия в уровнях подземных вод в течение рассматриваемого периода, значительное количество выпавших осадков в летний период 2018–2019 гг. привело к раннему образованию наледи, возможно, из-за охлаждающего эффекта.

Во время проведения маршрутных исследований выявлено, что наслаивание льда происходило с середины ноября 2019 г. по конец февраля 2020 г., в результате 21 февраля 2020 г. возникла угроза подтопления жилых домов по ул. Луговая (24 дома, проживает 68 человек, из них 23 ребенка). Вследствие этого с целью проведения аварийно-восстановительных работ вводился режим «Чрезвычайная ситуация» в границах ул. Луговая (рис. 6).

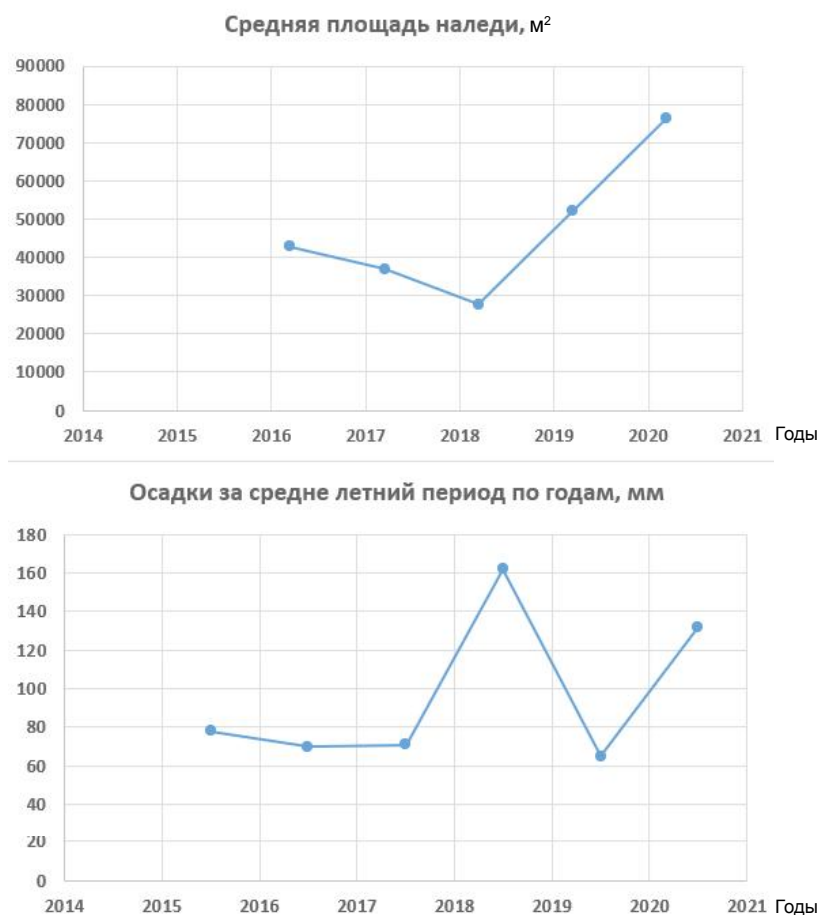


Рис. 5. Графики количества осадков за средне летний период и площади наледи в период 2015–2020 гг. / Fig. 5. Graphs of the precipitation amount for the average summer period and the area of ice during the period 2015–2020



Рис. 6. Подтопление приусадебной территории на ул. Луговая с. Смоленка, февраль 2020 г. / Fig. 6. Flooding of the homestead territory in the street. Lugovaya, village Smolenka, February 2020

Проведены замеры площади наледи, которая полностью перекрывала пойменную часть долины р. Смоленка. Максимальная ширина наледи составила более 150 м, самая узкая часть наледи составила 21 м, в среднем ширина наледи 99 м. При этом ширина русла р. Смоленка на месте образования наледи составляет лишь 1,5...2 м. Глубина воды в р. Смоленка в среднем составляет 0,36 м. В длину наледь – 900 м. Площадь наледи составила около 76440 м². По размерам данную наледь можно отнести к III категории (средней), по классификации авторов [8] – к среднеплощадной. Предложены мероприятия по ликвидации ЧС. В результате отсыпана защитная насыпь длиной 900 м и проведены другие виды работ. По состоянию на 19 марта 2020 г. проведены замеры высоты наледи в контрольных точках, замеры показали уменьшение наледи на 16 см. Чрезвычайная ситуация в границах ул. Луговая ликвидирована. Маршрутные исследования, проходившие во время проведения аварийно-восстановительных работ, в целом подтвердили данные, полученных по космоснимкам со спутника Sentinel-2.

Выводы. На основании данных со спутника Sentinel-2 L2A установлено, что на выбран-

ном участке исследования в период с 2016 по 2021 гг., максимальные размеры наледи зафиксированы 18 марта – 21 марта, а начало формирования наледи – 10–18 февраля. Обнаружено, что зимой 2020 г. зарегистрирован наиболее большой выход наледи за последние пять лет из-за значительного количества выпавших осадков в летний период и охлаждающего эффекта.

Поэтому для предотвращения возникновения ЧС дистанционное еженедельное исследование территорий Забайкальского края, наиболее подверженных риску образования наледей, необходимо проводить в период с января по март, а в случае возникновения угроз подтопления, разрушения объектов народного хозяйства – осуществление ежедневных маршрутных исследований.

Таким образом, совместное применение дистанционного исследования космических снимков со спутника Sentinel-2 и маршрутного исследования позволяет более точно выявлять неблагоприятную динамику образования наледей, в том числе небольших, составлять прогнозы и оперативно предпринимать действия в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Список литературы

1. Алексеев В. Р. Криогенез и геодинамика наледных участков речных долин // Геодинамика и тектонофизика. 2015. Т. 6, № 2. С. 171–224.
2. Жирков А. Ф., Железняк М. Н., Пермяков П. П., Кириллин А. Р., Верхотуров А. Г. Влияние инфильтрации жидких атмосферных осадков на формирование температурного режима мерзлых грунтов // Вестник Забайкальского государственного университета. 2018. Т. 24, № 6. С. 4–14. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-6-4-14.
3. Иванова М. А., Звягинцев В. В. Наледные явления Забайкальского края (современное состояние, прогноз) // Техносферная безопасность Байкальского региона: сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2019. С. 159–166.
4. Иннотер: [сайт]. URL: <https://innoter.com/sputniki/sentinel-2a-2b> (дата обращения: 21.08.2022). Текст: электронный.
5. Кондратьев В. Г. Концепция системы мониторинга опасных наледных процессов на территории Читинской области. Чита: ЗабТранс, 2000. 112 с.
6. Погода и климат: [сайт]. URL: www.pogodaiklimat.ru (дата обращения: 12.08.2022). Текст: электронный.
7. Фурсенко Ю. С., Звягинцев В. В. Использование данных дистанционного зондирования Земли для организации рационального природопользования // Безопасность 2020: сб. науч. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2020. С. 72–76.
8. Шестернев Д. М., Верхотуров А. Г. Воздействие наледей на инженерные сооружения // Вестник Забайкальского государственного университета. 2016. Т. 22, № 10. С. 30–40. DOI: 10.21209/22279245201622103040
9. Ma Y., Wu H., Wang L., Huang B., Ranjan R., Zomaya A., Jie W. Remote Sensing Big Data Computing: Challenges and Opportunities // Future Generation Computer Systems. 2015. No. 51. Pp. 47–60.
10. Makarieva O. M., Shikhov A. N., Ostashov A. A., Nesterova N. V. Naledi river basin Indigirka based on modern Landsat images and historical data // Ice and Snow. 2019. No. 59. Pp. 201–212.
11. Voigt S., Giulio-Tonolo F., Lyons J., Kucera J., Jones B., Schneiderhan T., Platzeck G. Global Trends in Satellite Mapping of Emergencies // Science. 2016. No. 353. Pp. 247–252.

References

1. Alekseev V. R. *Geodinamika i tektonofizika* (Geodynamics and tectonophysics), 2015, vol. 6, no. 2, pp. 171–224.
2. Zhirkov A. F., Zheleznyak M. N., Permyakov P. P., Kirillin A. R., Verhoturov A. G. *Vestnik Zabayskogo gosudarstvennogo universiteta* (Bulletin of the Transbaikal State University), 2018, vol. 24, no. 6, pp. 4–14. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-6-4-14.
3. Ivanova M. A., Zvyagintsev V. V. *Tehnosfernaya bezopasnost Baykalskogo regiona* (Technospheric security of the Baikal region). Chita: Transbaikal State University, 2019. Pp. 159–166.
4. *Innoter* (Innother). Available at: <https://innoter.com/sputniki/sentinel-2a-2b> (date of access: 21.08.2022). Text: electronic.
5. Kondratiev V. G. *Kontseptsiya sistemy monitoringa opasnykh nalednykh protsessov na territorii Chitinskoj oblasti* (The concept of a monitoring system for dangerous icing processes on the territory of the Chita region). Chita: Zabtrans, 2000. 112 p.
6. *Pogoda i klimat* (Weather and climate). Available at: www.pogodaiklimat.ru (date of access: 12.08.2022). Text: electronic.
7. Fursenko Yu. S., Zvyagintsev V. V. *Bezopasnost 2020* (Safety 2020). Chita: Transbaikal State University, 2020. Pp. 72–76.
8. Shesternev D. M., Verhoturov A. G. *Vestnik Zabayskogo gosudarstvennogo universiteta* (Bulletin of the Transbaikal State University), 2016, vol. 22, no. 10, pp. 30–40. DOI: 10.21209/22279245201622103040
9. Ma Y., Wu H., Wang L., Huang B., Ranyan R., Zomaya A., Jie W. *Future Generation Computer Systems*, 2015, no. 51, pp. 47–60.
10. Makarieva O.M., Shikhov A.N., Ostashov A.A., Nesterova N.V. *Ice and Snow*, 2019, no. 59, pp. 201–212.
11. Voigt S., Giulio-Tonolo F., Lyons J., Kucera J., Jones B., Schneiderhan T., Platzeck G. *Science*, 2016, no. 353, pp. 247–252.

Благодарности

Авторы выражают признательность за оказанную помощь М. А. Ивановой, сотруднику Центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Забайкальскому краю

Информация об авторе

Звягинцев Владимир Викторович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой техносферной безопасности, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: экологическая и информационная безопасность, гидротехника
zchst@mail.ru

Звягинцева Ольга Юрьевна, канд. биол. наук, доцент кафедры водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: экологическая безопасность, экология
zchst@mail.ru

Information about the author

Vladimir Zvyagintsev, candidate of technical sciences, associate professor, head of the Technosphere Safety department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Research interests: environmental and information security, hydraulic engineering

Olga Zvyagintseva, candidate of biological sciences, associate professor, Water Management department, Environmental and Industrial Safety, Transbaikal State University, Chita, Russia. Research interests: environmental safety, ecology

Для цитирования

Звягинцев В. В., Звягинцева О. Ю. Динамика образования наледи в условиях Восточного Забайкалья: исследование с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 7. С. 17–25. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-7-17-25.

Zvyagintsev V., Zvyagintseva O. Investigation of the ice formation dynamics under the conditions of Eastern Transbaikalia Territory using Earth remote sensing data// Transbaikal State University Journal, 2022, vol. 28, no. 7, pp. 17–25. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-7-17-25.

Статья поступила в редакцию: 08.09.2022 г.

Статья принята к публикации: 16.09.2022 г.