

Строение и многолетняя динамика ледяного покрова в нижнем течении реки Амур

© 2018 г. А.Н. Махинов*, В.И. Ким, Д.В. Матвеев

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия

*amakhinov@mail.ru

The structure and long-term dynamics of the ice cover in the lower reach of the Amur River

A.N. Makhinov*, V.I. Kim, D.V. Matveenko

Institute of Water and Ecology Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Science, Khabarovsk, Russia

*amakhinov@mail.ru

Received January 15, 2017 г.

Accepted July 18, 2017

Keywords: *Amur, ice cover, ice stratigraphy, terrigenous inclusions, timing of ice phenomena.***Summary**

The severity of the climate in the lower reaches of the Amur River, characteristics of the river water regime, dynamics of the channel processes together with meteorological factors determine rather specific ice regime of this river. The freeze-up on the river lasts from 152 (Khabarovsk) to 185 (the city of Nikolaevsk-on-Amur) days, and by the end of winter the ice thickness reaches, on the average, 1.0–1.2 m. Three main types of the ice thickness structure are recognized according to conditions of the ice formation. The first type is much hummocky ice, consisting of the ice fragments frozen together over the entire thickness after the end of the autumn ice drift. It is widespread in channels of the largest branches of the river and is characterized by a thickness up to 2.2 m and the great quantities of terrigenous inclusions – up to 1.064 g/dm³. The second type is weakly hummocky ice comprising two layers. The upper part consists of fragments with inclusions of terrigenous particles, while the bottom one – of the homogeneous transparent ice thickness frozen during the winter. The third type is the pure homogeneous ice formed during the winter in small branches of the river. Its thickness is about 0.9–1.1 m, and the average content of terrigenous material is about 0.046 g/dm³. When compared with the climate situation of 1930–1990, the global climate warming of 1991–2013 resulted in a shift in dates of the main spring and autumn ice phenomena by 2–3 days, while the duration of the stable ice cover reduced by 3–4 days.

Citation: Makhinov A.N., Kim V.I., Matveenko D.V. The structure and long-term dynamics of the ice cover in the lower reach of the Amur River. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2018. 58 (1): 117–126. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2018-1-117-126

Поступила 15 января 2017 г.

Принята к печати 18 июля 2017 г.

Ключевые слова: *Амур, ледяной покров, сроки ледовых явлений, стратиграфия льда, терригенные включения.*

Рассматривается строение ледяного покрова на участках разветвлённого русла в пределах нижнего течения р. Амур. Определено среднее содержание терригенного материала, включённого в лёд (от 1,064 г/дм³ для сильно торосистых льдов в больших речных рукавах до 0,046 г/дм³ в небольших второстепенных протоках). В 1991–2013 гг. по сравнению с 1930–1990 гг. начало осенних ледовых явлений в нижнем течении реки сместилось на 1–2 дня на более поздние сроки, весеннего ледохода – на 2–3 дня раньше, а продолжительность ледостава сократилась на 3–4 дня.

Введение

Специальных исследований ледяного покрова р. Амур до недавнего времени не проводили. Есть лишь отдельные разрозненные сведения о толщине льда и условиях образования зажоров в низовьях реки, полученные в середине XX в. [1]. В настоящее время на постах Гидрометеослужбы ведутся наблюдения за толщиной льда и сроками наступления и окончания основных ледовых явлений. В последние годы исследованиями Института водных и экологических проблем ДВО

РАН (г. Хабаровск) установлено, что ледяной покров р. Амур характеризуется значительной неоднородностью строения ввиду различных гидродинамических условий в разных рукавах разветвлённого русла, интенсивной динамики русловых процессов и больших скоростей течения на отдельных участках реки во время осеннего ледохода [2]. Установлена роль ледовых явлений в формировании берегов, в том числе в результате зимнего подлёдного размыва [3]. Влияние переноса льда на формирование аллювиальных отложений ранее отмечал А.П. Нечаев [4]. Для

Амура характерна также изменчивость многолетнего ледового режима, обусловленная неодинаковой суровостью зим в разные годы и глобальными изменениями климата [5]. В условиях слабой освоенности территории Приамурья ежегодно на реках оборудуются ледовые переправы. Вне их местное население использует замёрзшие русла рек в качестве дорог, что ежегодно приводит к трагическим последствиям. Осенью 2015 г. в Ульчском районе Хабаровского края под лёд провалился снегоход с четырьмя пассажирами, а в феврале 2016 г. в полынье, в районе села Екатерино-Никольское (Еврейская автономная область) утонул ребёнок.

Данные о строении ледяного покрова р. Амур необходимы не только для решения прикладных задач, но и для выявления условий формирования зажоров и заторов, степени воздействия льда на берега, а также для оценки количества включений терригенного вещества в толщу льда на различных участках речного русла. Во время весеннего ледохода Амур выносит в Амурский лиман и Охотское море большое количество включённого в лёд материала, объём которого может быть оценён только непосредственными измерениями его содержания в ледовой толще.

Методика работ

Строение льда исследовалось в нижнем течении Амура на участках разветвлённого русла, характеризующегося наличием рукавов разных размеров. Непосредственно на реке наблюдения проводились в 2008–2017 гг. при максимальной толщине льда (февраль–март). В створе работ определялись характер торосистости льда и протяжённость участков с разными его разновидностями в поперечном створе русла. Измерялись средняя и максимальная высота торосов. Наиболее детальные исследования вели в районе г. Хабаровск, где Амур имеет многорукавное русло (рис. 1). Для проведения работ выбирали прямолинейные или слабоизвилистые участки реки. Основное русло Амура выше Хабаровска имеет ширину 2,2 км, оно слабоизвилистое, с максимальной глубиной вдоль правого берега. Вдоль левого берега на большом пространстве лёд небольшой толщины лежит на грунте. Пемзенская протока шириной 400 м характеризуется прямо-

линейным руслом с равномерным распределением глубин по ширине. Эта протока интенсивно развивается, расширяет русло и увеличивает глубины. Амурская протока шириной 500 м относится к отмирающим рукавам, постепенно уменьшения стока воды. Наблюдения за строением льда проводились также на ряде участков р. Амур выше г. Хабаровск на расстоянии до 400 км и ниже города – на расстоянии 300 км.

С помощью механического бура поперёк русла бурили скважины через каждые 50 м при ширине до 400 м и через 100 м при более широком русле. Из каждой скважины получали керн диаметром 15 см и после его осмотра делали его послойное описание. Определялись цвет, прозрачность льда, наличие и характер включений. Для количественной оценки содержания терригенного материала ледяной керн послойно распиливали на части через 10–20 см с учётом характера включений. Из каждого керна отбирали 9–12 проб, которые растапливали в стеклянной ёмкости. После фильтрования измеряли объём полученной воды. Фильтр высушивали при температуре 105 °С до постоянной массы, после чего взвешивали для определения массы включённого в лёд вещества. Всего проанализировано более 250 проб из 25 кернов.

Для анализа многолетних характеристик ледовых явлений р. Амур использовали общедоступные данные наблюдений на постах Дальневосточного управления гидрометеорологической службы (Дальневосточное УГМС), расположенных у городов Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре и Николаевск-на-Амуре. Эти посты имеют продолжительные ряды наблюдений (с 1930, 1932 и 1927 гг. соответственно) и характеризуют всё нижнее течение р. Амур.

Строение льда

Несмотря на южное положение р. Амур (48–53° с.ш.), соответствующее широте Волги между Самарой и Волгоградом, низкие зимние температура воздуха обуславливают продолжительный период ледостава и большую толщину льда. Средняя продолжительность ледостава на Амуре по данным Дальневосточного УГМС увеличивается вниз по течению от Хабаровска до

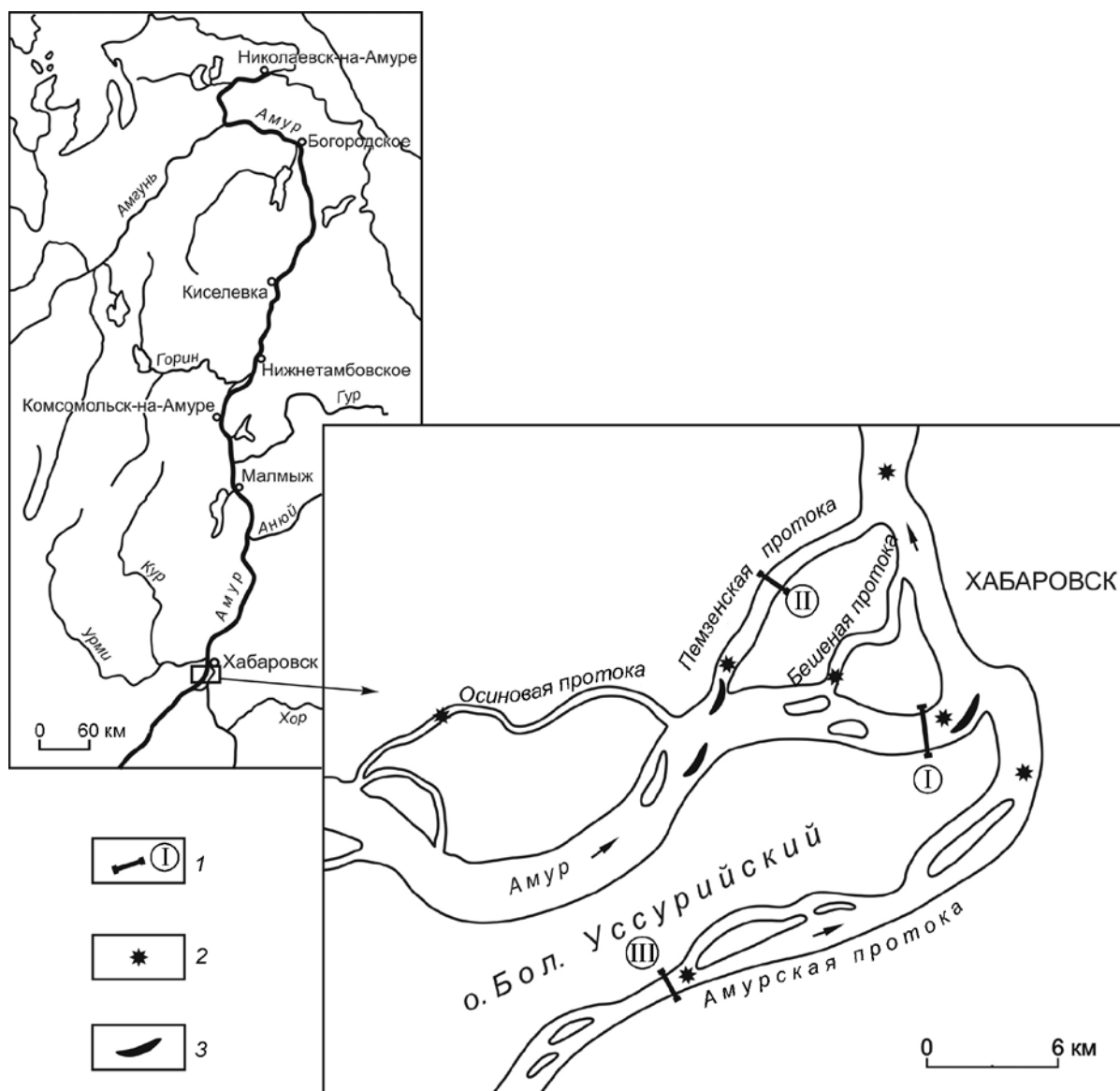


Рис. 1. Районы исследований:

1 – створы детального изучения ледяной толщи по поперечному профилю русла (I – основное русло, II – Пемзенская протока, III – Амурская протока); 2 – участки отдельных наблюдений ледяного покрова; 3 – полыньи и участки тонкого льда

Fig. 1. The area of exploration:

1 – cross sections of detailed ice exploration along the transverse course profile (I – the main course, II – Pemzenskaya channel, III – Amurskaya channel); 2 – sections of separate ice observation; 3 – ice-holes and sections of light ice

Николаевска-на-Амуре на 33 дня [6]. В небольших второстепенных рукавах ледяной покров за счёт малых глубин и медленных скоростей течения воды обычно устанавливается на несколько дней раньше, а разрушается на несколько дней позже по сравнению с основным руслом. Толщина льда изменяется по ширине реки, поэтому для её характеристики использовалась величина, которая определялась как среднее значение по

данным измерений 8–10 ледовых скважин в поперечном створе реки.

Согласно нашим измерениям, толщина льда к концу зимы в районе Хабаровска в период 2006–2016 гг. составляла 1,06 м, а в суровые зимы 2012–2013 гг. достигала 1,4 м. Вместе с тем на отдельных участках реки имеются незамерзающие в течение всей зимы полыньи. Крупные полыньи существуют несколько десятков



Рис. 2. Ледяной покров р. Амур:

a — сильно торосистый лёд в главном русле вблизи г. Хабаровск; *б* — ровный лёд в Амурской протоке у с. Осиновая Речка; керны льда: *в* — торосистый загрязнённый; *г* — однородный прозрачный

Fig. 2. Ice cover of the Amur River:

a — strongly hummocked ice in the mainstream near Khabarovsk; *б* — flat ice in the Amurskaya channel near the Osinovaya Rechka village; ice cores: *в* — hummocked, dirty ice; *г* — flat transparent

лет, однако часть из них образуется периодически — один раз в 3–7 лет, а в остальные годы на их месте формируются участки тонкого льда. На некоторых участках реки отмечаются миграции полыней в зависимости от динамики русла, обуславливающей смещение глубоких плёсов с большими скоростями течения.

Строение ледяного покрова р. Амур характеризуется существенной неоднородностью в поперечном сечении, особенно в пределах основного русла [2]. Выделяются несколько хорошо выраженных зон с отчётливыми границами. Зона с самым торосистым льдом протягивается вдоль стрежня потока и имеет ширину 80–100 м. Поскольку ледоход в этой части русла проходит непосредственно перед ледоставом, плывущие

обломки льдин в узком потоке создают протяжённые высокие гряды, выступающие над поверхностью на высоту до 1,5 м (рис. 2, *a*). Нижняя кромка льда также очень неровная, поэтому разброс крайних значений толщины льда в пределах этой зоны характеризуется максимальными величинами. С обеих сторон этой зоны расположены намного более широкие зоны слабо торосистого льда. Ширина их зависит от морфологических характеристик русла. На прямолинейных участках они симметричны и имеют ширину до 200 м с обеих сторон. На излучинах вдоль вогнутого берега ширина их намного меньше, чем на противоположном выпуклом берегу.

Ледяной покров в небольших по размерам рукавах (Амурская и Орловская протоки) имеет глад-

кую однородную поверхность или слабо восторжен в основном горизонтально залегающими небольшими обломками льда (см. рис. 2, б). В результате повышенной толщины снежного покрова толщина льда в таких рукавах обычно несколько меньше по сравнению с основным руслом или соизмеримых с ним крупных рукавах. Стратиграфия ледяной толщи существенно зависит от условий формирования ледяного покрова. Сильно торосистый лёд распространён преимущественно в основном русле Амура и самых крупных рукавах реки, особенно на участках сужения русла и крутых излучинах. Толщина льда достигает здесь 2,2 м и остаётся постоянной в течение всей зимы. Торосистый лёд полностью состоит из хаотически расположенных смёрзшихся обломков льда разного размера. Вся толща сохраняется зимой в том виде, в котором она образовалась в период осеннего ледохода. Новые слои льда снизу в течение зимы не нарастают. Лёд полупрозрачный, с включениями мелких пузырьков воздуха и имеет слоистость, подчеркнутую тёмными прослоями включений терригенного и органического материала (см. рис. 2, в).

В зоне распространения слабо торосистого льда толща имеет двучленное строение. Верхняя её часть также состоит из смёрзшихся обломков, сформировавшихся при осеннем ледоходе. Нижняя часть толщи представляет собой намёрзший за счёт нарастания снизу в течение зимы прозрачный стекловидный лёд. Толщина льда на таких участках мало изменчива в поперечном профиле русла и составляет в среднем 1,1–1,2 м. Отчётливо проявляется следующая закономерность: чем толще верхний торосистый слой, тем меньше толщина прозрачного нижнего слоя, намёрзшего за зимний период. На участках с незначительной торосистостью льда формируется однородный по всему профилю прозрачный стекловидный лёд толщиной до 1 м под снежной толщей 15–25 см и до 1,2 м при отсутствии снега (см. рис. 2, г). Аналогичный по строению лёд образуется при замерзании полыней на участках торосистого льда. Толщина его различна и зависит от продолжительности существования ледяной поверхности. Такие участки достаточно широко распространены в вершинах излучин с большими скоростями течения воды и представляют собой большую опасность.

Скорость нарастания льда на участках со слабой торосистостью приведена в табл. 1. Наи-

Таблица 1. Динамика изменения толщины льда во время ледостава в нижнем течении р. Амур (по данным наблюдений 2015–2016 гг. на постах Дальневосточное УГМС)*

Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
<i>Хабаровск</i>					
3,7/32	1,3/73	0,9/99	0,6/115	0,2/117	–0,5/108
<i>Комсомольск-на-Амуре</i>					
3,5/33	1,5/78	1,1/111	0,5/126	0,1/128	–0,3/122
<i>Николаевск-на-Амуре</i>					
2,1/33	1,2/70	0,9/96	0,7/115	0,1/117	–0,2/111

* В числителе — скорость изменения толщины льда, см/сутки; в знаменателе — толщина льда, см.

большие её значения характерны для ноября, однако по мере увеличения толщины льда постепенно скорость нарастания падает. В марте лёд прирастает со средней скоростью 0,1–0,2 см в сутки, а апреле наблюдается уменьшение его толщины. Скорости нарастания льда практически одинаковы на всём протяжении нижнего течения реки. Лишь таяние льда в апреле происходит более быстрыми темпами на южном участке Амура (г. Хабаровск) по сравнению с северным (г. Николаевск-на-Амуре). На отдельных участках реки лёд нарастает сверху за счёт намерзания на его поверхности наледного слоя. Наледный лёд отличается белым цветом и более пористым строением, поскольку обычно он формируется под снежным покровом. Толщина его составляет 5–10 см, но в отдельных случаях достигает 25 см. В среднем и нижнем течении Амура выдавливание воды на поверхность и её замерзание происходят в результате зажорных явлений или при значительном сбросе воды из водохранилищ крупных ГЭС в бассейне Амура. В низовьях реки обширные наледи на ледяной поверхности связаны с воздействием приливов [7].

Ледяной покров р. Амур разбит сетью многочисленных трещин, идущих в разных направлениях. Густота трещин достигает 100–150 м на 100 м² на участках ровного льда в протоках. Вместе с тонкими трещинами нередко встречаются трещины шириной до 2 см, частично заполненные льдом выдавленной подлёдной воды. Вдоль берегов они протягиваются на сотни метров. При залегании льда на грунте трещины достигают в ширину 20 см, проникая на всю его толщину. В зоне торосов установить сеть трещин обычно не удаётся из-за хаотичного нагромождения ледяных обломков разного размера.

Наибольшей густоты сеть трещин достигает к концу февраля — началу марта. Их образование, вероятно, связано с особенностями зимнего водного режима реки. В течение всей зимы происходит постепенное снижение уровня воды и ледяная поверхность снижается, что приводит к её деформации и разрыву сплошности ледовой толщи. При этом вертикальные подвижки отдельных блоков льда не происходят. Некоторую роль в образовании трещин играют колебания уровня воды, обусловленные попусками из водохранилищ. В этом случае вдоль крупных вдольбереговых трещин происходит оседание льда с образованием уступов высотой до 1 м. Иногда вода по таким трещинам выступает на поверхность, образуя слой наледного льда.

Количественная оценка включений в лёд терригенного материала

Характерная особенность льда р. Амур — большое количество включений в него терригенного материала. В прибрежной части русла при продолжающемся в течение зимних месяцев падении уровней воды лёд ложится на дно реки на большой площади. Нередко ширина русла, в пределах которого лёд соприкасается с грунтом, достигает 400 м, а на отдельных участках — более 1000 м [2]. В результате к нижней кромке льда примерзает слой грунта толщиной 1–2 см, который весной во время ледохода переносится льдиной на значительные расстояния. Включения терригенного материала во льду распределены неравномерно как на разных участках русла, так и по разрезу ледяного керна. Наиболее загрязнены торосистые льды. При этом в сильно торосистом льду включения распределены по всей толще, в то время как при слабом торошении терригенный материал приурочен к верхнему слою льда. В последнем случае большую роль в поступлении материала на лёд играют эоловые процессы. В конце зимы при аэровизуальных наблюдениях на ледяной поверхности Амура фиксируются обширные шлейфы песчаного материала, вытянутые по направлению господствующих ветров. В процессе ветрового переноса на лишённую от снега поверхность льда поступают также гравий и мелкая галька.

По характеру строения ледяной толщи в разрезе выделяют три типа льда с соответствующи-

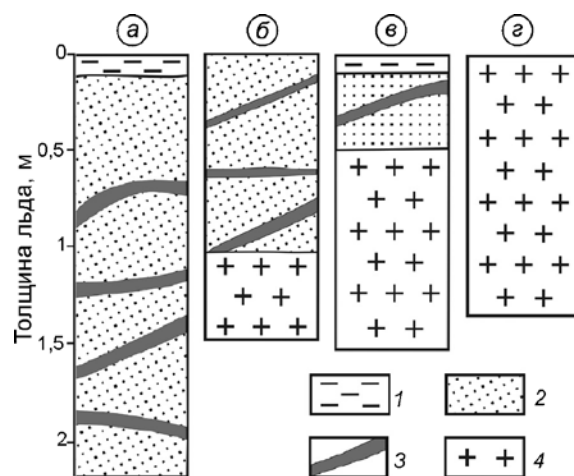


Рис. 3. Основные типы строения ледяной толщи в русле р. Амур:

а — сильно торосистый; *б* — слабо торосистый; *в* — слабо торосистый с наледным льдом; *г* — однородный. 1 — наледный непрозрачный лёд; 2 — торосистый лёд с рассеянными включениями; 3 — слои с повышенным включением терригенного и органического материала; 4 — прозрачный лёд без видимых включений

Fig. 3. The main types of ice structure in the Amur River bed:

a — strongly hummocked ice; *б* — slightly hummocked ice; *в* — slightly hilly with ice; *г* — smooth ice. 1 — aufeis opaque ice; 2 — hummocky ice with scattered inclusions; 3 — layers with the increased inclusion of terrigenous and organic material; 4 — clear ice without visible inclusions

ми им распределениями включений терригенного материала обычно в виде прослоев тёмного (загрязнённого) льда (рис. 3).

Первый тип льда представлен только смёрзшимися на всю мощность толщи обломками торосистого льда, образовавшимися во время осеннего ледохода. Для него характерна разнонаправленная косая слоистость прослоев с повышенным содержанием включений, обусловленная хаотичным положением отдельных обломков льдин при торошении и последующем их смерзании. Содержание терригенных включений в сильно торосистом льду, по данным измерений в основном русле Амура у г. Хабаровск, составляет около 1,0 г/дм³ (табл. 2). Распределение их в толще весьма неравномерно (рис. 4). Обычно оно изменяется в пределах 1,2–2,0 г/дм³. Однако в отдельных прослоях, встречающихся внутри ледяной толщи, содержание материала достигает 15,69 г/дм³. Эти прослои толщиной 1–2 см образуются в результате захвата обломками льда грунта с мелководий или при

Таблица 2. Содержание терригенного материала во льду р. Амур в окрестностях г. Хабаровск, г/дм³

Место отбора проб	Среднее	Максимальное	Минимальное
Сильно торосистый лёд (основное русло Амура)	1,064	2,732	0,416
Слабо торосистый лёд (Пемзенская протока)	0,508	0,980	0,002
Ровный лёд (Амур-ская протока)	0,046	0,096	0,001

отрыве заберегов, частично лежащих на грунте и принесённых на другой участок реки во время осеннего ледохода. Некоторую роль в переносе и включении в ледяную толщу песка, гравия и мелкой гальки, вероятно, играет донный лёд при его подъёме и примерзании к нижней кромке.

Второй тип льда распространён на слабо торосистых участках с двучленным строением ледяной толщи, что обуславливает резко асимметричное содержание включений. Максимальное количество терригенного материала приурочено к верхней части разреза (в среднем 0,50–1,20 г/дм³), а незначительное (0,001–0,08 г/дм³) – к нижней части (см. табл. 2). Большое количество включений песчано-глинистого материала в верхнем слое льда отмечается обычно вблизи берегов. Этот материал поступает на ледяную поверхность в результате эолового переноса и при формировании наледного слоя включается в состав льда. В нижней части ледяной толщи, содержащей незначительное количество включений, изредка встречаются гравий и мелкая галька. Их попадание в лёд можно объяснить только поступлением в результате примерзания обломков донного льда к нижней кромке ледяной толщи и дальнейшим её нарастанием снизу.

Третий тип льда встречается в малых протоках со спокойным течением, на участках открытой воды в больших речных рукавах, а также вокруг полыней. Он образовался между льдинами в начале ледостава и впоследствии покрылся льдом. Лёд на всю толщину прозрачный и однородный. Содержание включений в нём невелико: от 0,001 до 0,096 г/дм³ по данным измерений в Амурской протоке и на участках замёрзших полыней в Пемзенской протоке (см. табл. 2).

Таким образом, наибольшее содержание терригенных включений в лёд наблюдается в зоне

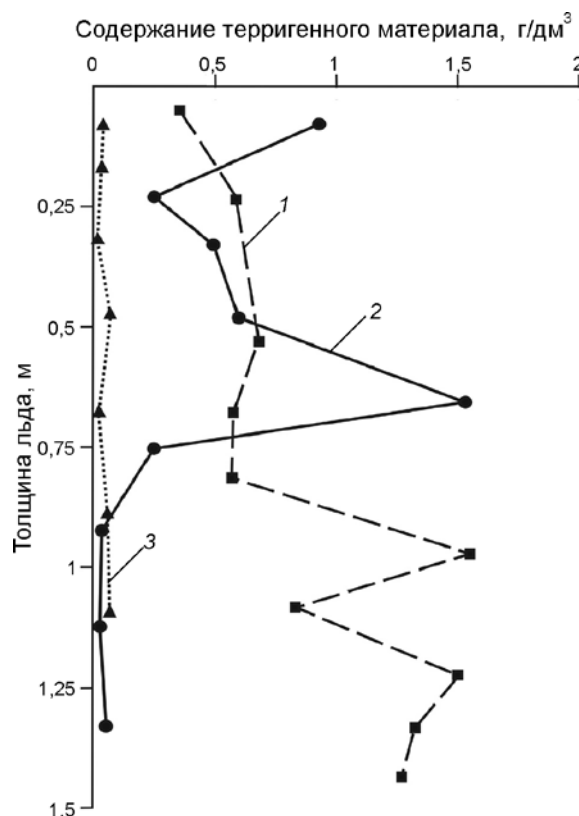


Рис. 4. Распределение включений терригенного материала в ледяной толще р. Амур.

Лёд: 1 – сильно торосистый; 2 – двучленный слабо торосистый; 3 – однородный

Fig. 4. Distribution of terrigenous material inclusions in the ice thickness of the Amur River.

Ice: 1 – strongly hummocked ice; 2 – two-membered slightly hummocked ice; 3 – flat ice

интенсивного торования. На участках эолового поступления материала с обрывистых берегов, сложенных легко развеиваемыми песками, или с обширных лишённых снега кос терригенный материал накапливается в основном в снежном покрове и включается в состав льда только при формировании наледного льда. Содержание его на прибрежных участках русла Амурской протоки зимой 2014 г. составило 0,17 г/дм³.

Изменение сроков основных ледовых явлений

Для решения многих практических задач важны данные о толщине льда и многолетней динамике сроков начала и окончания ледовых явлений. В табл. 3 приведены данные о средней толщине льда в основном русле р. Амур, Пемзенской

Таблица 3. Средняя по створу толщина льда (см) и сумма зимних среднесуточных отрицательных температур S (°C)

Год	Р. Амур	Пемзенская протока	Амурская протока	S
2006	92	105	91	2210,9
2007	103	109	78	1739,8
2010	101	94	78	2284,2
2011	109	79	93	1988,3
2012	110	88	106	2198,0
2013	139	131	126	2214,7
2014	123	99	110	2025,8
2015	Не измерялась	78	90	2036,1
2016	68	77	89	1994,8

и Амурской протоках в окрестностях Хабаровска за разные годы в период 2006–2016 гг. Данная толщина льда определялась как среднее значение толщины всех пробуренных по поперечному профилю русла скважин. Установлено, что толщина льда в основном русле Амура на сильно затороженных участках не зависит от суммы среднесуточных отрицательных температур за зимний период, так как в течение всей зимы лёд снизу практически не нарастает. Именно поэтому самая большая толщина льда наблюдается после интенсивного торошения во время осеннего ледохода, а не в суровые зимы. Так, наибольшая толщина льда в главном русле Амура отмечалась в зимы 2013 и 2014 гг., которые характеризовались высокими уровнями воды в начале ледостава и интенсивным торошением во время осеннего ледохода.

В менее крупных Пемзенской и Амурской протоках связь между суммой температур и толщиной льда более чёткая. Чем суровее зима, тем толще образующийся в них лёд. Отметим, что большие значения толщины льда в Пемзенской протоке в 2006/07 г. обусловлены частичным её перекрытием в 2005 г. переливной дамбой, существенно сократившей в ней сток. Скорости течения воды резко замедлились. В дальнейшем дамба частично разрушилась, увеличив сток и скорость течения в протоке, что отразилось на толщине льда.

Одной из основных причин смещения сроков начала и окончания ледовых явлений на реках могут быть климатические изменения. В южных районах Дальнего Востока установлено существенное увеличение средней годовой температуры воздуха по сравнению со средним значением этого показателя, рассчитанным по данным

за всё время метеорологических наблюдений. Особенно значительным оно было в последние 20 лет (1991–2010 гг.) и для нижнего течения Амура составило 0,56 °C [8]. Для выявления изменений в сроках наступления различных ледовых явлений и продолжительности ледостава было выделено два периода – 1930–1990 и 1990–2013 гг. В табл. 4 приведены средние многолетние характеристики ледового режима в нижнем течении р. Амур отдельно по каждому периоду для трёх пунктов, имеющих продолжительные ряды наблюдений. Протяжённость реки на рассматриваемом участке составляет более 900 км. Общее направление течения – с юго-запада на северо-восток. В этом же направлении возрастает суровость климата. Среднегодовая температура воздуха для Хабаровска составляет 1,6 °C, Комсомольска-на-Амуре –0,6 °C и Николаевска-на-Амуре –2,2 °C [9]. Однако зимние температуры воздуха различаются не так существенно. Для этих же пунктов средняя температура января равна соответственно –21,6, –25,4 и –23,4 °C.

Влияние изменений стока р. Амур на ледовый режим установить в настоящее время невозможно ввиду малой продолжительности наблюдений за ледовыми явлениями и 12–17-летними периодическими чётко выраженными чередованиями пониженной и повышенной водности в многолетних колебаниях годового стока. Во временной отрезок 1990–2013 гг. попадают по одному неполному периоду высокой и низкой водности.

Сравнение данных о ледовом режиме Амура до 1990 г. и после него показывают, что начало ледовых явлений сдвинулись на более поздние сроки – от двух до шести суток. Наибольшие изменения в сроках появления заберегов отмечаются в низовьях реки (г. Николаевск-на-Амуре). Они могут быть связаны не только с увеличением температуры воздуха, но и с поступлением более тёплой воды сверху по течению из южных участков реки, так как изменения температуры воды более инерционны по сравнению с температурой воздуха.

Ледостав на р. Амур в районе городов Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре после 1990 г. начал устанавливаться на один день позже, чем в предыдущий период, а в Николаевске-на-Амуре – на два дня. При этом увеличилась неравномерность начала и окончания ледостава с общим смещением на более поздние сроки на-

Таблица 4. Средние многолетние характеристики ледового режима в нижнем течении р. Амур (по данным наблюдений на постах Дальневосточное УГМС)

Годы	Начало ледовых явлений	Начало ледостава	Подвижка льда	Начало весеннего ледохода	Конец весеннего ледохода	Продолжительность ледостава, сутки
<i>Хабаровск, 966 км от устья</i>						
1930–1990	05.11*	23.11	21.04	23.04	29.04	151
1990–2013	08.11	24.11	18.04	21.04	27.04	148
<i>Комсомольск-на-Амуре, 614 км от устья</i>						
1930–1990	05.11	20.11	28.04	01.05	03.05	163
1990–2013	07.11	21.11	25.04	29.04	30.04	159
<i>Николаевск-на-Амуре, 48 км от устья</i>						
1930–1990	01.11	13.11	14.05	15.05	16.05	182
1990–2013	07.11	15.11	12.05	12.05	14.05	179

* Указаны число и месяц.

чала и на более ранние сроки его окончания. Например, в последние годы ледостав у Хабаровска устанавливался: в 2012 г. — 1 декабря; в 2013 г. — 3 декабря при средних сроках 24 ноября. Начало ледохода в 2008 г. — 7 апреля, 2017 г. — 13 апреля при средних сроках 21 апреля. Продолжительность ледостава на разных участках нижнего течения Амура сократилась на трое–четверо суток.

Начало весенних подвижек льда и весеннего ледохода за последние 23 года сместилось по сравнению с предшествующим периодом на трое суток раньше у Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре и на двое суток у Николаевска-на-Амуре. Дата окончания весеннего ледохода также сместилась на более ранние сроки на 2–3 дня. Установленное смещение сроков ледовых явлений в нижнем течении Амура, несомненно, обусловлено реакцией на глобальные климатические изменения, которые выражаются в повышении приземной температуры воздуха и, как следствие, температуры воды.

Заключение

Строение льда в нижнем течении р. Амур, характеризующейся разветвлённым руслом, неоднородно как в различных рукавах, так и в по-

перечном профиле. В стратиграфии ледяной толщи чётко выделяются основные слои: торосистый лёд, образованный в течение короткого периода осеннего ледохода; намерзающий в течение зимы прозрачный лёд; наледный лёд обычно небольшой мощности. Они формируют различные сочетания ледяной толщи, отличающиеся не только стратиграфией, но и содержанием терригенного материала. Наибольшее количество терригенных включений характерно для торосистого льда.

Изменение климата, проявившееся в Нижнем Приамурье, привело к смещению сроков основных ледовых явлений за период 1990–2013 гг. по сравнению с периодом 1930–1990 гг. на 2–3 дня. Продолжительность ледостава сократилась на 3–4 дня. При этом заметных различий для разных пунктов нижнего течения реки не установлено, вероятно, из-за близких для всей этой территории темпов потепления.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Дальневосточного отделения РАН (проекты 15-I-6-083 и 16-I-6-033э).

Acknowledgments. This work was supported by the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (projects 15-I-6-083 and 16-I-6-033e).

Литература

1. Соловьев И.А. Русловой процесс и водные пути Нижнего Амура. Владивосток: Приморское книжное издательство, 1967. 145 с.
2. Махинов А.Н., Ким В.И. Ледяной покров реки Амур и его влияние на русловые процессы // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 4. С. 359–366.

References

1. Solov'yev I.A. Ruslovoy protsess i vodnye puti Nizhnego Amura. Channel process and waterways of the Lower Amur. Vladivostok: Primorskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1967. 145 p. [In Russian].
2. Makhinov A.N. Kim V.I. Cover of the Amur River and its impact on channel processes. *Vodnye resursy*. Water Resources. 2013, 40 (4): 359–366.

3. Kim V.I., Makhinov A.N. Ice erosion of the Amur river banks // 21st IAHR International Symposium on Ice. Dalian, China, June 11 to 15, 2012. Dalian University of Technology Press. P. 150–159.
4. Нечаев А.П. Льдинный аллювий горных рек Приамурья // Вопросы географии Приамурья. 1967. С. 49–56.
5. Махинов А.Н., Ким В.И. Изменение ледового режима р. Амур в связи с глобальными изменениями климата // Регионы нового освоения: Современное состояние природных комплексов и вопросы их охраны. Конф. с междунар. участием, 11–14 октября 2015 г. Сб. материалов. Хабаровск: изд. ИВЭП ДВО РАН, 2015. С. 195–198.
6. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши: Т. I. Вып. 19. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 412 с.
7. Иванов А.В., Махинов А.Н., Чукмасова Т.Г. Гигантские наледи на ледяном покрове приустьевом участка Амура // Советско-китайский симпозиум «Геология и экология бассейна реки Амур»: Тезисы докладов. Ч. 111 (1). Благовещенск: изд. АмурКНИИ ДВО АН СССР, 1989. С. 69–71.
8. Новороцкий П.В. Современные климатические изменения в бассейне Амура и на побережье Японского моря // Изв. РГО. 2011. Т. 143. Вып. 1. С. 41–48.
9. Петров Е.С., Новороцкий П.В., Ленишин В.Т. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. Владивосток–Хабаровск: Дальнаука, 2000. 174 с.
3. Kim V.I., Makhinov A.N. Ice erosion of the Amur river banks. 21st IAHR Intern. Symposium on Ice. Dalian, China, June 11 to 15, 2012. Dalian University of Technology Press: 150–159.
4. Nechaev A.P. Ice alluvium of the mountain rivers of the Amur region. *Voprosy geografii Priamur'ya*. Geography problems of Priamurye. 1967: 49–56. [In Russian].
5. Makhinov A.N., Kim V.I. Changing the ice regime of Amur River in connection with global climate change. *Regiony novogo osvoeniya: Sovremennoe sostoyanie prirodnnykh kompleksov i voprosy ikh okhrany*. Conf., 11–14 October 2015. Regions of new development: The current state of natural complexes and issues of their protection. Khabarovsk: IVEP DVO RAN, 2015: 195–198. [In Russian].
6. *Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod суши*. Long-term data on the regime and resources of surface waters of the land. V. I. Issue 19. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986: 412 p. [In Russian].
7. Ivanov A.V., Makhinov A.N., Chukmasova T.G. Giant icings on the ice cover near the mouth of the Amur River. *Sovetsko-kitayskiy simpozium «Geologiya i ekologiya basseyna reki Amur»*. *Tezisy dokladov*. The Soviet-Chinese Symposium «Geology and Ecology of the Amur River Basin». Abstracts. Pt. III (1). Blagoveshchensk: AmurKNII DVO AN SSSR, 1989: 69–71. [In Russian].
8. Novorotskiy P.V. Modern climatic changes in the Amur basin and on the coast of the Sea of Japan. *Izvestiya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva*. Proc. of the Russian Geographical Society. 2011, 143 (1): 41–48. [In Russian].
9. Petrov E.S., Novorotskiy P.V., Lenshin V.T. *Klimat Khabarovskogo kraia i Evreyskoy avtonomnoy oblasti*. The climate of the Khabarovsk Territory and the Jewish Autonomous Region. Vladivostok – Khabarovsk: Dal'nauka, 2000: 174 p. [In Russian].