

Российская Академия Наук
Сибирское отделение
Институт географии

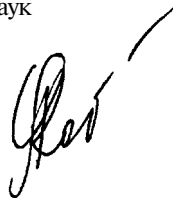
На правах рукописи

КОВАЛЬЧУК Оксана Анатольевна

**НАЛЕДИ И РУСЛОВЫЕ ЗАПАСЫ ЛЬДА
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО СЯНА**

Специальность 25.00.27 - Гидрология суши,
водные ресурсы, гидрохимия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук



Иркутск - 2005

Работа выполнена в Институте географии СО РАН

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор
Алексеев Владимир Романович

Официальные оппоненты: доктор географических наук
Напрасников Александр Тимофеевич,

кандидат географических наук, доцент
Беркин Наум Савельевич

Ведущая организация: Тюменский Государственный нефтегазовый университет, **кафедра криосферы Земли**

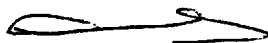
Защита состоится 14 июня 2005 г. в 10 час. на заседании диссертационного совета Д 003.010.01 при Институте географии СО РАН по адресу: 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии СО РАН.

Автореферат разослан 14 мая 2005 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью) просим направлять по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 003.010.01 Рыжову Юрию Викторовичу, факс: (8-3952)-42-27-17. E-mail: postman@irigs.irk.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат географических наук



Рыжов Ю.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Наледи - своеобразное и широко распространенное явление природы, характерное для регионов с суровыми климатическими условиями. Изучение их началось трудами российских ученых-путешественников А.Ф.Миддендорфа, Г.Л.Майделя, К.Дитмара, С.А.Подъяконова еще в середине-конце XIX в. Особенно активно исследовались наледи во второй половине XX столетия. В настоящее время совокупность знаний о наледях и наледных процессах оформилась в самостоятельное научное направление - наледоведение. В становлении и развитии его большой вклад внесли отечественные ученые и специалисты, доктора и кандидаты наук В.Е.Афанасенко, В.Р.Алексеев, А.П.Горбунов, А.В.Иванов, М.М.Корейша, В.В.Кравченко, И.А.Некрасов, В.Г.Петров, Н.Н.Романовский, Е.А.Румянцев, Н.Ф.Савко, Б.Л.Соколов, М.И.Сумгин, Н.И.Толстихин, О.Н.Толстихин, М.Ш.Фурман, А.Н.Чижов, В.В.Шепелев, А.А.Цвид и др.

Исторически сложилось так, что долгое время основное внимание исследователей привлекали крупные ледяные поля, формирующиеся за счет излияния и последующего намораживания подземных вод. Как правило, такие массивы льда «нанизаны» на русла рек, имеют округлую конфигурацию и распространяются на всю ширину днища долины, отделяясь, друг от друга значительными расстояниями. Изучению наледей других генетических типов (речных, талых снеговых, озерных вод) посвящено небольшое число работ. Вследствие этого сложилось мнение, что на реках Сибири и Дальнего Востока наледи, хотя и имеют большие размеры, но встречаются локально, т.е. не образуют сплошных ледяных покровов по длине водотоков. Например, в Каталогах наледей зоны БАМ (1980, 1981, 1982), отражены характеристики более 4000 наледей подземных вод, зафиксированных специальной аэрофотосъемкой на территории 260000 км². Все они демонстрируют дискретный характер распределения ледяных массивов.

Между тем, специальные наблюдения на сибирских реках (Алексеев, 1975; Кравченко, 1983; Соколов, 1975) показали, что наледи имеют более широкое распространение, и что происхождение их носит гетерогенный характер. В связи с этим возникла необходимость постановки долгосрочных режимных наблюдений на водотоках различного порядка по всей их длине для того, чтобы выявить фактические масштабы развития наледных процессов (показать их «линейное» распределение), выявить структуру и изменчивость ледяного покрова во времени и пространстве, оценить его роль в функционировании речных систем и

внутригодовом перераспределении водных ресурсов. Исследования в данном направлении были осуществлены сотрудниками лаборатории гляциологии Института географии СО РАН под руководством д.г.н., проф. В.Р.Алексеева в 1980-1994 гг. Полученные выводы и материалы приобретают важное практическое значение при освоении новых регионов, в частности, при оценке наледной опасности на трассах автозимников, на участках проектирования и строительства мостов, ледовых переправ, трубопроводов, при прогнозировании весенних паводков и ледяных заторов, при общей оценке проходимости территории и т.д.

Цели и задачи исследований. Основная цель работы - на примере центральной части Восточного Саяна изучить генетическую структуру ледяного покрова в различных звеньях гидрографической сети, выявить закономерности распространения и морфодинамические особенности наледей, усовершенствовать методику расчета русловых запасов льда в период их годового максимума. Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

1) рассмотреть условия и факторы льдообразования в зависимости от высоты местности и порядка водотоков речной системы;

2) изучить строение ледяного покрова на реках, определить количественные показатели наледного и речного льда, оценить их изменчивость во времени и пространстве;

3) рассчитать объемы воды, сконцентрированные в наледном и речном льду в руслах неизученных рек со сходными морфоструктурными и климатическими условиями;

4) разработать способ картографического отображения русловых запасов льда.

Постановка работ. Методы исследования. Решение сформулированных задач осуществлялось в верхней части бассейна реки Уды с площадью водосбора 9371 км². Эта горная территория расположена в пределах абсолютных высот 750-2500 м, охватывает три природных пояса - горно-таежный, подгольцовый и гольцовый. Для получения необходимых данных использовались дистанционные методы наблюдений с вертолетов МИ-4, МИ-8 и наземные исследования на опорных маршрутах, профилях и площадях. Основная часть материалов получена на трех специальных гляциологических полигонах, представляющих собой участки рек различных порядков или их бассейны, специально оборудованные для режимных наблюдений.

Экспериментальный наледный полигон Эден площадью 1250 км² расположен на границе Тофаларии и Тывы (абс. выс. 1300-2300 м). Он включает в себя два противостоящих бассейна рек Эгеги и Эдена третьего

и четвертого порядков и часть долины реки Уды V порядка ледниково-тектонического происхождения. Эта территория характеризуется сложно расчлененным рельефом, прерывистым и преимущественно сплошным распространением многолетнемерзлых горных пород, относительно небольшой мощностью снежного покрова. Режимные наблюдения за динамикой наледных явлений осуществлялись здесь в течение 10 лет на протяжении 1983-1992 гг. Всего на полигоне Эден было оборудовано 140 ландшафтно-гляциологических профиля и 5 временных метеорологических постов.

Полигоны Шаманка и Синий Камень расположены в нижней части горно-таежного пояса Восточного Саяна в пределах абсолютных высот 750-1550 м. На этой территории более мягкий рельеф местности, широко представлена темнохвойная тайга, вечная мерзлота встречается небольшими островами, а высота снежного покрова в 1,5-2,0 раза больше, чем в верховьях реки Уды. Программа наблюдений на полигоне Шаманка площадью 16,7 км² реализована ВБ.Кравченко. Здесь в 1987-1991 гг. выполнен полный комплекс гляцио-гидрологических, метеорологических, мерзлотно-гидрогеологических и других работ. На полигоне оборудовано 134 ледомерных створа, где осуществлялись режимные наблюдения с октября по июнь включительно. Одновременно с изучением наледей на полигоне Шаманка проводились эпизодические измерения меженного стока и ледомерные съемки в приустьевых участках рек, впадающих в реку Уду на протяжении около 100 км.

Полигон Синий Камень представляет собой 4-х километровый отрезок реки Уды VI порядка у устья реки Нерхи. На этом участке выполнен оригинальный комплекс наблюдений за развитием наледей речных вод. Исследовались температурный режим и динамические особенности подледного водного потока, нарастание льда сверху и снизу, вода и снежный покров на льду, осенние и весенние гляцио-гидрологические явления и пр.

При анализе и обобщении полученных материалов автор использовала как свои личные наблюдения, выполненные на полигоне Эден в 1986-1992 гг., так и сведения, полученные в разные годы сотрудниками Лаборатории гляциологии Института географии СО РАН в других частях бассейна реки Уды. При обработке данных применялись графоаналитический и картографический методы интерпретации данных, использовался набор компьютерных программ Microsoft Office. Порядок водотоков определялся на основе топографических карт масштаба 1:25000 и 1:100000.

Научная новизна. В результате многолетних исследований:

- 1) определена генетическая структура ледяного покрова в руслах горных рек различного порядка;
- 2) получены представления о распространении и пространственно-временной изменчивости наледей и речного льда в горах Восточного Саяна;
- 3) оценена роль наледей в формировании русловых запасов льда и водных ресурсов горной территории;
- 4) предложен новый способ картографирования льдозапасов в руслах рек, учитывающий структуру гидрографической сети.

Практическое значение. В работе представлены материалы и выводы, которые могут быть использованы: 1) при региональной оценке условий и факторов формирования водных ресурсов юга Восточной Сибири; 2) при составлении прогнозов весеннего половодья на горных реках Иркутской области; 3) при проектировании и строительстве автозимников и трасс линейных инженерных сооружений.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались на X и XI научных совещаниях географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 1999 г., 2001 г.), на Первой Всероссийской конференции «Рекреационная география Азиатской России: современное состояние и перспективы развития» (Иркутск, 2000 г.), на VII научном совещании по прикладной географии (Иркутск, 2001 г.), на XV конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 2003 г.), на Международной научной конференции «Рациональное использование и охрана водных ресурсов в изменяющейся окружающей среде» (Ереван, 2003 г.).

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 6 статьях, опубликованных в материалах всероссийских и международных совещаний и конференций.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Список литературы включает 114 наименований. Общий объем работы составляет 200 страниц, в том числе 23 таблицы, 33 рисунка. Приложение содержит 21 рисунок, 11 таблиц.

Содержание диссертации. В первой главе проведен исторический обзор изучения наледей в Восточной Сибири за последние 100 лет. Анализ опыта исследований в этом направлении показал важность и необходимость проведения натурных наблюдений. В полной мере познание закономерностей распространения и динамики наледных процессов возможно только при комплексном географическом подходе с

использованием данных стационарных наблюдений и маршрутных исследований. Проведено обобщение и систематизация имеющихся материалов.

Во второй главе детально рассмотрены применяемые методы изучения наледных явлений: дистанционные (аэровизуальное и авиадесантное обследование, аэрофотосъемка) и наземные (маршрутные и стационарные наблюдения). Большинство использованных методов осуществить непосредственный контакт исследователя с объектами изучения и в комплексе дают возможность получить достаточно обширную и достоверную информацию. На основе анализа полученных данных определены задачи исследований.

В третьей главе рассмотрены причины, условия и факторы наледообразования на реках Восточного Саяна; проанализированы результаты, полученные при режимных наблюдениях на стационарных участках, во время маршрутных наземных и аэровизуальных съемок; описаны особенности формирования и закономерности распространения наледей различных генетических типов в бассейне р. Уды от истоков до устья р. Хадамы.

Четвертая глава посвящена изучению морфоструктурных особенностей наледей в пределах экспериментальных полигонов. Определена структура ледяного покрова и основные наледные характеристики: ширина, мощность, площадь поперечного сечения, объем, площадь распространения наледей. Рассчитан температурный коэффициент стаивания. Проанализирована пространственно-временная изменчивость ледяного покрова в различных высотных поясах и по порядкам водотоков.

В пятой главе описаны современные методы расчета русловых запасов льда, их достоинства и недостатки. Предложен новый методический подход к оценке льдозапасов в руслах неизученных рек на основе изучения порядковой системы водотоков. Проведена оценка наледности и русловых запасов льда бассейна р. Уды (до устья р. Хадамы). Продемонстрирован новый способ картографического отображения льдозапасов.

В заключении приведены основные выводы по результатам исследований.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность за предоставленные фотоматериалы, руководство и консультации, оказанные в процессе полевых работ и подготовки диссертации, научному руководителю д.г.н., профессору В.Р.Алексееву. Искренняя признательность и благодарность за внимание и содействие и.о. директора Института географии СО РАН д.г.н. А.Н.Антипову, зам. директора д.г.н.,

проф. Л.М.Корытному. Особая благодарность к.г.н. Н.И.Новицкой, А.И.Дьяконову за помощь в проведении полевых работ, к.г.н. Е.А.Ильичевой, к.г.н. О.В.Гагариновой, к.г.н. А.И.Шеховцову за помощь и поддержку при подготовке рукописи, Л.Г.Поповой, Б.Ф.Мутину, Л.Ю.Огородниковой за помощь в оформлении работы.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИЕ ПРЕДМЕТ ЗАЩИТЫ

1. Характерной особенностью речных систем центральной части Восточного Саяна является повсеместное распространение наледей речных, подземных и талых снеговых вод. Закономерности формирования и пространственно-временное распределение наледей здесь обеспечивается сложным комплексом природных факторов и условий, в числе которых ведущее место занимает структура и плано-высотное положение гидрографической сети. Отсутствие наледных явлений на горных реках III-IV и более высоких порядков есть редкое исключение, а не правило.

Особенности формирования ледяного покрова на реках Восточного Саяна определяются суровыми климатическими, неоднородными мерзлотно-гидрогеологическими и морфоструктурными условиями. Восточные Саяны это обширный сложно расчлененный горный массив с хорошо выраженными тектоническими ступенями. Часть исследуемой территории имеет среднегорный рельеф (до высоты 1500 м), другая представляет собой альпийскую поверхность (в пределах высот 1500-2800 м). Хребты сложены породами архейского и протерозойского возраста - гнейсами, кварцитами, известняками, сланцами, гранитами. Мощные толщи изверженных и метаморфических пород протерозоя, осадочные горные породы кембрия и силура (доломиты и известняки) разбиты многочисленными разломами и смяты в складки. Большинство речных долин заложены по ослабленным зонам тектонических разломов, обработаны древнеледниковыми процессами. Аллювий рек имеет сравнительно небольшую мощность, представлен русловыми и пойменными преимущественно валунно-галечно-песчаными отложениями. Долины террасированы. Северные склоны гор обычно покрыты крупнообломочным материалом с дресвяным и суглинистым заполнителем. Часто встречаются курумы. Южные склоны покрыты мелкодисперсными отложениями со щебнем и глыбами коренных пород. Расширенные участки долин выполнены песком, галькой, суглинками, некоторые «подпружены» древними моренными образованиями.

Сочетание различных форм рельефа определяет сложный характер климатических характеристик и зависимость их распределения от высоты местности и экспозиции склонов. В целом климат района резко континентальный с умеренным увлажнением (400-700 мм). Наибольшее количество осадков выпадает на северо-западных макросклонах хребтов. Зимний период характеризуется большой продолжительностью (6-7 месяцев), малоподвижными антициклонами, небольшими осадками. Средняя годовая температура в зависимости от абсолютных высот местности изменяется от - 6.0 до -10 °С. Самый холодный месяц январь ($t_{\text{ср}} = -15...-20$ °С) Лето - прохладное, умеренно влажное, с резкими перепадами дневных и ночных температур. Самый теплый месяц июль ($t_{\text{ср}} = +13...+15$, высоко в горах $+8...+10$ °С).

Речная сеть района сложно расчлененная, древовидная. По условиям питания и режиму реки относятся к восточносибирскому типу с преимущественно дождевым питанием. Водотоки I-IV порядков дренируют в основном альпинотипный рельеф местности, водотоки более высоких порядков - среднегорье. Внутригодовое распределение стока неравномерное, основная часть его приходится на лето. Зимой, большая часть средних и малых водотоков (I-IV порядков) полностью промерзает, более крупные реки (выше V порядка) сохраняют сток в течение всего зимнего периода. Средние модули зимнего меженного стока не превышают 0,5 л/сек-км². Продолжительность ледостава повсеместно 6-7 месяцев.

Речная сеть характеризуется большой густотой, значительными уклонами, слабой извилистостью, наличием в руслах рек небольших песчано-галечных залесенных островов, часто встречаются водопады, порожистые участки с бурным течением. Долины рек имеют ступенчатый продольный профиль. Водотоки I-IV порядков обычно располагаются в V-образных или троговых долинах, местами, переходящими в ущелья. Русла горных рек I-III порядков чаще всего завалены крупными валунами и обломками горных пород (рис. 1), осенью уровень водных потоков в них предельно низкий. Ширина долин постепенно увеличивается по мере понижения абсолютных отметок местности. В высокогорье (чаще всего в истоках рек I порядка) располагаются многочисленные небольшие по площади подпруженные ледниковые и каровые озера.

Долины рек V и более высоких порядков в основном трапециевидные, иногда асимметричные с шириной днища до 3.5 км и шириной русла от 50 до 200 м. Берега крутые, порой отвесные высотой 3-10 м. Пороги и плесы чередуются через 0.3-0.8 км.

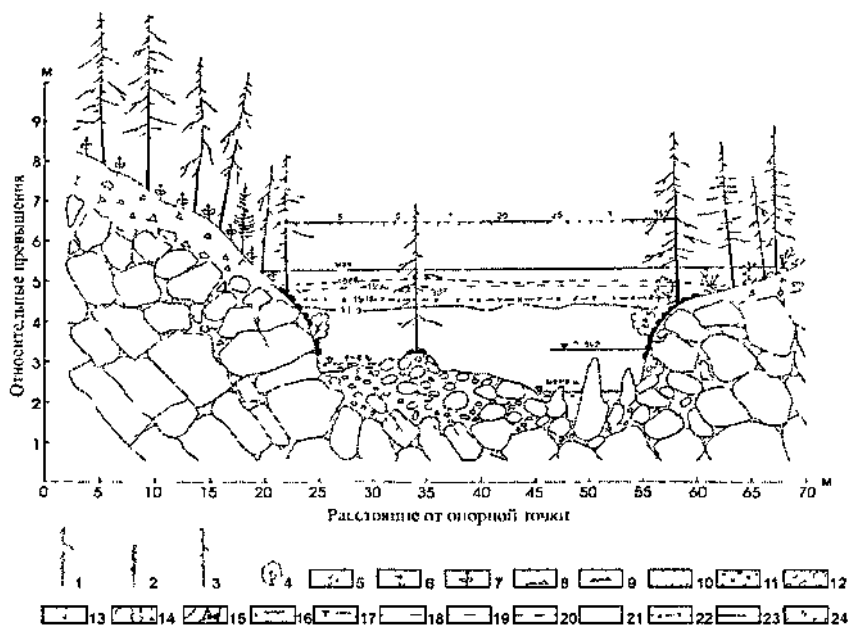


Рис. 1. Поперечный профиль наледного русла р. Эгега(Ш порядок).

Абс. высота 1485 м. Расстояние от устья 5.5 км.

1 - лиственница возраста более 100 лет, 2 - подрост лиственницы; 3 - сухая лиственница, 4 - ива, 5 - кустарниковая береза; 6 - пятилистник кустарниковый, 7 - разнотравье, 8 - моховой покров; 9 - гипновый моховой покров, 10 - песок; 11 - галечниковые отложения, 12 - валунно-галечниковые отложения; 13 - дресва, 14 - крупнообломочные отложения; 15 - коренные породы, 16 - уровень воды в паводок; 17 - уровень воды в осеннюю межень; 18 - максимальный уровень развития наледи по отметкам на деревьях; 19-22 - максимальный уровень наледи в 1986, 1990, 1987, 1988 и 1989 годах, соответственно; 24 - измерительный трос.

Суровые климатические условия обеспечили в горах Восточного Саяна повсеместное распространение многолетнемерзлых горных пород. В гольцовом и подгольцовом поясах сплошная вечная мерзлота достигает мощности 300-500 м. Талики встречаются под ледниковыми озерами, в узлах и вдоль тектонических разломов, под руслами водотоков, а также на южных хорошо обогреваемых склонах гор, покрытых лугово-степной растительностью. В таежном поясе (на уровне высот 700-1200 м)

многолетнемерзлые толщи слагают северные склоны, замшелые днища долин и речные террасы.

Наличие многолетней мерзлоты во многом определило пути фильтрации и разгрузки подземных вод. Пополнение запасов воды в гидрогеологических массивах происходит через ледниковые озера, таликовые зоны на склонах и сухих надпойменных террасах. Постоянно действующие источники, как правило, приурочены к подножьям гор и подрусловым участкам небольших рек на перегибах продольного профиля долин; сезонно действующие и временные родники встречаются повсеместно в распадках гор, по подножиям речных террас и склонов долин.

Анализ данных показал, что описанные природные условия и факторы обеспечивают широкое распространение на реках наледей трех основных типов - речных, подземных и талых снеговых вод. Особенности наледообразования тесно связаны с порядками водотоков речной системы, зависят от ее структуры и высотного положения. Выяснилось, что каждой долине определенного порядка соответствует свой «типовой» набор условий, причин и факторов развития наледных явлений, отличный от аналогичных комплексов, характерных для смежных речных долин. Эти отличия могут быть существенными или незначительными, явными или скрытыми, но они всегда закономерно меняются по мере перехода из долины одного порядка в долину другой категории. Например, условия, причины и факторы формирования наледей в долинах рек III порядка (ширина днища и русла, уклон продольного профиля, состав отложений, глубина, ширина и скорость течения водного потока, площадь и мощность многолетнемерзлых пород, высота снежного покрова, микроклиматические характеристики и пр.) существенно отличаются от условий причин и факторов наледообразования в долинах рек II, IV и других порядков. Таким образом, зная порядковую структуру речной сети и имея набор данных, полученных в опорных экспериментальных бассейнах (табл. 1), можно с известной погрешностью определить характеристики наледных явлений на неизученной территории. Эффективность такого подхода выявлена нами совместно с другими сотрудниками лаборатории гляциологии ИГ СО РАН в результате комплексных гляцио-гидрологических наблюдений в долинах рек I-VI порядков на полигонах Эден, Шаманка и Синий Камень.

Вскрыты следующие закономерности распространения и развития наледных явлений.

Наледи речных вод практически никогда не образуются на водотоках I порядка, поскольку к началу устойчивых холодов происходит полное истощение водных потоков. На водотоках II и III порядков наледи

речных вод возникают в раннезимний период и нарастают до тех пор, пока полностью не промерзнут русловые воды (в гольцовом поясе в октябре, в среднегорье - в конце ноября). На реках более высоких порядков формирование наледей речных вод - обычное явление до января-февраля в долинах IV-V порядков и в течение всей зимы в долинах VI порядка.

Таблица 1

Характеристика русловой сети и наледей экспериментальных бассейнов

Характеристика	Бассейны рек и порядок водотоков									
	Большой Эден				Малый Эден			Эгега		
	I	II	III	IV	I	II	III	I	II	III
Количество водотоков	64	13	4	1	16	5	1	14	2	1
Суммарная длина рек, км	74	29	19	15.5	22	6	8	17	8	11
Средняя длина рек, км	1.2	2.2	4.8	15.5	1.4	1.2	8	1.2	4	11
Суммарная длина наледей, км	12.8	9.1	14	15.2	4.8	3.0	6.9	2.8	3.2	10.7
Средняя длина наледей, км	0.2	0.7	3.5	15.2	0.3	0.6	6.9	0.2	1.6	10.7
Козф. линейной наледности	0.17	0.31	0.74	0.98	0.22	0.5	0.86	0.17	0.4	0.98
Ср. ширина днища долины, м	25	105	175	180	15	30	89	10	40	88
Ср. ширина потока в межень, м	1.5	5.5	12.0	25	2.0	13.0	15.0	1.5	4.0	8.5
Ср. ширина русла, м	4.0	15	30	45	7.0	27	35	5.0	20	28
Средняя ширина наледей, м	3.5	8.5	45	70	2.5	7.0	66.5	2.5	5.0	56.6
Макс. ширина наледей, м	15.0	25	63	207	3.0	35	280	3.0	55	255
Средняя глубина в межень, м	0.05	0.15	0.2	0.3	0.05	0.2	0.3	0.05	0.15	0.3
Средняя глубина в паводок, м	0.2	0.4	0.5	0.6	0.2	0.4	1.2	0.2	0.6	0.9
Средняя мощность наледей, м	0.1	0.3	1.5	0.9	0.15	0.3	1.3	0.15	0.3	1.3
Максим. мощность наледей, м	0.5	1.0	3.4	3.5	0.4	1.2	3.5	0.3	1.1	2.9

Излияние речной воды на поверхность льда вызывается резким увеличением расхода подледного потока, уменьшением пропускной способности русла в связи с его промерзанием, стеснением шугой, давлением снега на ледяной покров, созданием криогенного напора на отдельных замкнутых участках плесов и пр. Механизм процесса наледообразования имеет свои особенности для разных интервалов высот местности. В руслах рек, имеющих отметки более 1300 м, промораживание водных потоков происходит очень быстро, забереги практически не образуются, полыньи встречаются редко, при этом изливающиеся воды смешиваются со снежным покровом и шуговыми скоплениями, наледный лед имеет толщину 10-15 см.

Ниже указанного высотного уровня (на реках IV-V порядков) наледеобразование начинается с появлением широких заберегов и ледяных перемычек. Во время и после ледостава большую роль играют снеговые нагрузки на тонкий речной лед и стеснение русла шугой. Далее, нарастание наледного льда на реках осуществляется за счет стеснения живого сечения потока в результате его постепенного промерзания. При полном промерзании водотока (в декабре-январе) образование наледей речных вод заканчивается, при этом мощность их обычно не превышает 30-50 см.

На реках VI и более высоких порядков (ниже отметок 800-850 м) намораживание речных вод осуществляется в течение всей зимы; но особенно активно в феврале-марте, что объясняется уменьшением пропускной способности постоянно действующего подледного потока в результате воздействия сильных морозов. На глубоких плесах излияние речных вод может происходить и ранней весной. Обычно это связано с интенсивным промерзанием смежных перекаатов.

Наледеи подземных вод определяют стабильный и интенсивный рост льда на протяжении всего холодного периода года в руслах рек II-IV порядков. Наледобразование происходит за счет широко распространенных постоянно действующих источников подмерзлотных и межмерзлотных вод. Их можно встретить на дне непромерзающих водных потоков, по берегам рек или у подножия речных террас. Разгрузка подземных вод часто контролируется зонами повышенной тектонической трещиноватости коренных горных пород, «пережимами» толщи аллювиальных отложений, порогами и уступами продольного профиля долин. В гольцовом поясе питание наледебразующих источников подмерзлотных вод во многих случаях обеспечивается инфильтрацией воды через подозерные талики, расположенные в карах и на водораздельных седловинах. Об этом свидетельствует падение уровня большинства озер за зимний период на 2-5 м, сопровождающееся прогибом ледяного покрова. Сработка уровней наблюдается также и на некоторых старичных и моренных озерах в таежном поясе. Вблизи таких озер обычно формируются крупные ледяные поля, питающиеся субкавальными родниками. Иногда подмерзлотные воды выходят на дневную поверхность в поймах рек и на террасах, при этом образуются незамерзающие водоемы-озерки и топкие болота.

Характерными индикационными признаками наледей подземных вод глубокой циркуляции является «выход» льда на пойму и первую надпойменную террасы (см. рис. 1), постоянно действующие родники, полыньи, а также характерная растительность наледных полей с

отбеленными стволами деревьев и кустарников, многорукавность, непропорционально большая ширина русла и др.

На водотоках I порядка наледи подземных вод практически не встречаются, за исключением истоков рек и тальвегов долин, в которых разгружаются воды вышележащих подозерных таликов.

На водотоках V-VI порядков наледи подземных вод образуются лишь во второй половине зимы ниже мелководных перекаатов и на приустьевых участках перемерзающих боковых притоков. Здесь они наслаиваются на ледяной покров, образующийся при излинии речных вод.

Надмерзлотные и грунтовые воды сезоннопромерзающего слоя формируют наледи небольших размеров по бортам долин, береговым обрывам, в руслах временных ручьев. Внешне они представляют собой небольшие ленты, наплывы, «нашлепки» или сосульки, встречающиеся повсеместно. Развитие их начинается с наступлением морозов. Постепенно наледеобразующие воды приобретают криогенный напор, но быстро истощаются; через 20-30 суток рост таких наледей прекращается. Роль наледей надмерзлотных и грунтовых вод в структуре ледяного покрова рек и перераспределении водных ресурсов незначительна.

Режимные наблюдения на опорных полигонах и специальные ледемерные съемки на реках (Уде, Нерхе, Гутаре и др.) показали, что наледи подземных вод образуют сплошные ледяные ленты, которые прерываются лишь вблизи полыней и на участках сухих русел, фиксирующих гидротенные водопоглощающие талики.

Наледи талых снеговых вод распространены по территории неравномерно, что связано с особенностями распределения мощности снежного покрова и колебаниями температуры воздуха в переходные периоды года (осенью и весной).

В гольцовом и подгольцовом поясах в интервале абсолютных высот 1400-2500 м толщина снега постепенно увеличивается от 0.3-0.4 м до 1.0 м и более. Снег на протяжении всего зимнего периода перераспределяется ветром, значительная часть его откладывается в руслах рек и ручьев, а также на склонах гор в ветровой тени. Массы снега в руслах водотоков препятствуют быстрому промерзанию подстилающих грунтов, вследствие чего тальвеги долин и распадков I-II порядков, сложенные крупноглыбовыми грунтами, представляют собой своеобразные транзитные водоприемники. Они свободно пропускают надмерзлотные воды в нижележащие участки долин, быстро осушаются и промерзают, поэтому наледи и речной лед здесь имеют не большую мощность. Исключение составляют лишь участки сосредоточенной разгрузки подмерзлотных вод, о чем говорилось выше. С наступлением весны в

долинных снежниках вырабатываются временные русла, которые периодически заполняются тальми снеговыми водами. Во время ночных заморозков и в холодную погоду они промерзают, образуя слоистые массивы толщиной до 0.8 м. Часто намораживание талых снеговых вод происходит на ледяной поверхности наледей подземных вод.

В верхней части горно-таежного пояса на абсолютных высотах 900-1400 м толщина снежного покрова составляет всего 15-20 см, при этом, благодаря интенсивной инсоляции во время продолжительных антициклонов, большая часть снега испаряется. Таким образом, весной на реках III-V порядков намораживание талых вод происходит редко, в основном в виде кратковременно существующих ледяных слоев толщиной не более 5-8 см и только в случае продолжительного возврата холодов. На остальной части Саянского среднегорья (ниже 900 м) мощность снежного покрова вновь повышается до 0.3-0.4 м, местами более. Здесь наледи талых снеговых вод могут перекрывать русла рек V-VI порядков сплошным покровом на протяжении десятков километров. Однако толщина их в большинстве случаев также составляет не более 10-15 см.

Таблица 2

Общая характеристика экспериментальных бассейнов полигона Эден

Характеристика	Бассейны рек и их порядок			Среднее
	Бол. Эден IV	Мал. Эден III	Эгега III	
Площадь бассейна, км ²	240	48	50	
Площадь наледей, км ²	2.1	0.5	0.6	
Относительная наледность, %	0.88	1.05	1.2	1.1
Суммарная длина рек, км	138	36	36	
Суммарная длина наледей, км	51.1	14.7	16.7	
Коэффициент наледности гидрографической сети	0.37	0.41	0.47	0.42
Суммарный объем наледей, млн. м ³	2.3	0.6	0.8	
Запас воды в наледях, млн. м ³	1.96	0.51	0.68	
Слой наледного стока, мм	8.2	10.8	13.5	9.3
Суммарный объем речного льда, млн. м ³	0.3	0.06	0.05	

Режимные наблюдения за развитием наледных явлений на 300 поперечных профилях полигонов Эден, Шаманка и Синий Камень, а также маршрутные обследования других участков рек бассейна Уды, показали, что русловые наледы в горах Восточного Саяна практически отсутствуют только на водотоках I порядка; на остальных реках их нет в местах активного водопоглощения, которые зимой фиксируются сухими участками русла. Коэффициент линейной наледности хорошо выработанных долин практически равен единице. Общая относительная наледность территории очень высокая - в среднем около 1 % (табл. 2), при этом запас воды в наледях колеблется в пределах 8-15 мм.

2. Ледяной покров горных рек генетически неоднороден. Обычно он состоит из 3-4 ярусов, параметры которых определяются порядком водотоков и морфологическими особенностями долины. В руслах рек I-IV порядков преобладает лед анагенного происхождения, нарастающий снизу вверх при последовательном послойном намораживании речных, подземных и талых снеговых вод. В руслах рек более высоких порядков большую часть разреза составляет лед катагенного происхождения, образующийся в результате промерзания водных потоков сверху вниз.

Исследования генетической структуры и динамики ледяного покрова проводились на специально оборудованных профилях, заложенных в характерных местах поперек речных долин на расстоянии 0.1-0.5 км друг от друга. На полигоне Эден было оборудовано 140 гляциологических профилей, в том числе в долине р. Уды - 21, в долине р. Большой Эден - 51, в долине р. Малый Эден - 28, в долине р. Эгега - 40. Гляциологические профили (рис. 1) располагались поперек долин рек на расстоянии 0.1-0.5 км друг от друга. Ледомерные съемки проводилось согласно методическим пособиям по изучению наледей (Алексеев, Соколов, 1980; Методическое пособие..., 1984).

Все профили строились на основе предварительного визуального изучения избранного трансекта в весенний и летний периоды и последующего инструментального нивелирования. Отмечались рельеф, гидрологические характеристики водных потоков, мощность наледей на дату наблюдений и на период их максимального развития и др. Профиль с каждой стороны отмечался одинаковыми номерными знаками, между которыми туго натягивался размеченный через 1 м металлический трос. С одной стороны трос крепился к постоянному объекту (толстому дереву, скальному обнажению или вбитому в землю металлическому стержню), а с другой стороны соединялся через кронштейн с грузом, который

обеспечивал постоянное натяжение провода. На расширенных участках долин для поддержания троса устанавливались дополнительные рейки.

В течение наледного периода на профилях регулярно (раз в 10 дней) проводились измерения нарастания или стаивания льда. В устье р. Эгеги такие измерения проводились ежедневно в 9 часов утра и 19 часов вечера. Данные об уровне верхней поверхности речного льда снимались в осеннюю межень. По разности отсчетов этих измерений определялась мощность наледи. Принятая методика наблюдений позволила учитывать не только прирост льда и снега, но и определять генетическую принадлежность нарастающих слоев, фиксировать величину гидротермических движений грунтов, бугров пучения и пр.

В результате проведенных измерений получены данные о соотношении гидро- и гляциологических характеристик и их изменении во времени и пространстве. Выяснилось, что к концу периода активного наледобразования в руслах рек повсеместно образуется слоистое ледяное тело, имеющее в поперечном разрезе форму перевернутой плосковыпуклой линзы, многоступенчатой пирамиды или трапеции. Во всех разрезах ярко проявилась ярусность льда как результат формирования разных по происхождению покровов - катагенного, возникающего при промерзании речного потока сверху вниз, и анагенного (наледного), растущего снизу вверх. Генетическую структуру льда в руслах рек определяют 4 основных яруса - собственно речной лед (в том числе внутриводные кристаллы и подледная шуга), наледи речных, подземных и талых снеговых вод. Соотношение и размеры ярусов зависят, прежде всего, от порядка водотоков (рис. 2, табл. 3) и в меньшей степени от морфологических особенностей речных долин.

Русла водотоков I и II порядков на высотах более 1800 м к началу холодного периода года почти повсеместно осушаются, поэтому ярус речного льда здесь имеет небольшую ширину (3-5 м) и мощность 0.2-0.3 м и меньше. Если зимой речной лед не перекрывается наледями подмерзлотных вод, то весной на него наслаивается промоченный водой и замерзший снег, а также тонкие слои наледного льда, возникшие в результате намораживания талых снеговых вод. Мощность яруса снеговых наледей может превышать 1.0 м. Особенно большие масштабы наледи талых снеговых вод приобретают на расширенных участках долин, где талые воды распластываются по поверхности наледных полей, а также вблизи сезонных и многолетних снежников.

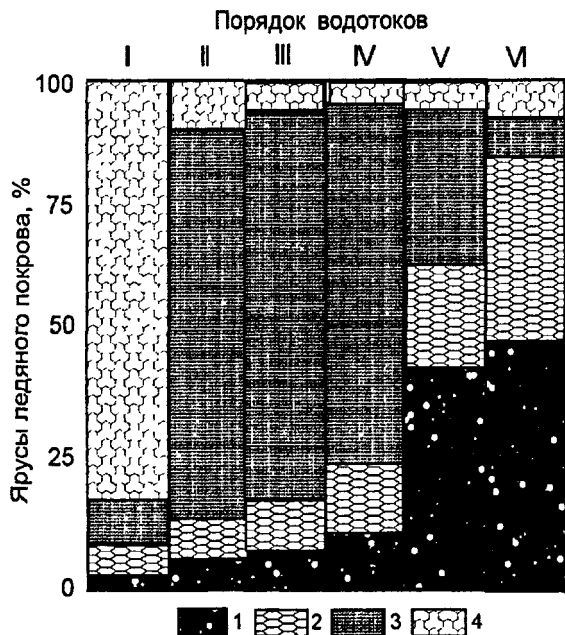


Рис. 2. Генетическая структура ледяного покрова верхней части бассейна р. Уды

/ -речной кристаллический лед; 2 - наледь речных вод; 3 - наледь подземных вод; 4 - наледь талых снеговых вод.

Таблица 3

Удельные объемы льда на реках бассейна р. Уды

Порядок водотоков	Объем льда, тыс. м ³ /км		
	наледного	речного	общий
I	0.5	0.1	0.6
II	2.1	0.9	3
III	72	3.8	76
IV	62	7.5	70
V	40	33	73
VI	38	80	118

В руслах рек II-IV порядков, дренирующих подгольцовый и верхнюю часть горно-таежного пояса (в диапазоне высот 900-1800 м), лед

имеет трех-, реже четырех ярусную структуру. Нижний ярус представляет собой ледяное кристаллическое образование толщиной 0.3-0.4 м из обычной речной воды. Он формируется в конце октября - начале ноября. В это же время, а на низких отметках вплоть до января, образуется второй ярус льда из речной воды, излившейся на поверхность нижнего яруса. Толщина его колеблется в пределах 0.1-0.5 м, повышаясь по мере увеличения высоты местности и порядка водотока. Примерно с середины декабря толщина ледяного покрова интенсивно увеличивается снизу вверх за счет выхода на поверхность подмерзлотных и подрусловых подземных вод. С этого периода наледные процессы с небольшими перерывами продолжаются до мая.

Средняя мощность третьего яруса, сформированного наледями подземных вод, составляет 1.0-1.5 м, а в некоторых местах достигает 5-7 м. Наледные массивы указанной мощности вытягиваются на многие километры, заполняют не только все русло, но и пойму и надпойменную террасу, значительно превышая уровень воды, фиксируемый во время летних дождевых паводков (до 1.5 м). Во многих местах наледь «растекается» от борта до борта, занимая все днище долины. Сверху ярус наледей подземных вод перекрывается небольшим (5-10 см) слоем замёрзших талых снеговых вод, который разрушается очень быстро под воздействием лучей весеннего солнца.

На водотоках V и более высоких порядков в формировании ледяного покрова принимают участие последовательно и поверхностные, и подземные воды. Процесс льдообразования начинается при интенсивном охлаждении водной поверхности, в результате чего появляется шуга, внутриводный лед и забереги. После установления ледяного покрова прирост льда происходит попеременно то сверху вниз в результате промерзания подледной массы воды, то снизу вверх вследствие изливания речных вод при стеснении подледного потока воды. В итоге формируется 2 яруса - нижний (речной кристаллический лед толщиной 0.5-0.8 м) и верхний (наледный) примерно такой же мощности. На перемерзающих участках рек эти два яруса могут перекрываться льдом, возникающим при замерзании излившихся подземных вод.

Ледяной покров на крупных реках обычно ограничивается руслом и не выходит на высокую пойму. На реках III-V порядков наблюдается иная картина (табл. 1): здесь почти повсеместно наледный лед заполняет не только пойму, но и надпойменную террасу. При этом днище долины выше уровня стояния высоких паводковых вод приобретает характерные черты и свойства так называемой «наледной поймы» (Гляциологический словарь, 1984). Наши наблюдения в горах Восточного Саяна полностью

подтверждают правомерность и необходимость выделения нового функционального элемента речных долин.

3. В верхних звеньях гидрографической сети наледные процессы определяют русловые запасы льда. Доля наледей в объеме ледяного покрова горных рек меняется по мере удаления от их истоков: на водотоках III-IV порядков она в 7, 10, 16 раз и более превышает объем собственно речного льда, в руслах рек высоких порядков составляет примерно половину. Учет наледной составляющей ледовых ресурсов позволяет более точно рассчитывать подземный и поверхностный сток.

На основе проведенных исследований рассчитаны ледовые ресурсы в бассейне р. Уды на период их максимального развития (табл. 4). В основу расчетов положены сведения о порядковой структуре гидрографической сети, снятые с топографических карт масштаба 1:100000, и фактические данные о структуре и удельных характеристиках ледяного покрова (табл. 3), полученные на реках Большой и Малый Эден и Эгега. Для контроля использовались сведения по полигонам Шаманка и Синий Камень.

Таблица 4

Русловые запасы льда в верхней части бассейна р. Уды ($F_6 = 9371 \text{ км}^2$)

Порядок водотоков	Количество рек	Суммарный объем льда				
		наледного		речного		общий млн. м ³
		млн. м ³	%	млн. м ³	%	
I	1978	1.6	85	0.3	15	1.9
II	413	2.8	67	1.2	33	4.0
III	92	46.6	95	2.5	5	49.1
IV	23	22.2	88	2.7	12	24.9
V	6	7.3	45	8.9	55	16.2
VI	1	4.0	32	8.4	68	12.4
Всего	2513	81.6	75	26.9	25	108.5

Расчеты показали, что в руслах рек бассейна Уды ежегодно концентрируется 108.5 млн. м³ льда, что составляет примерно 15 % твердых атмосферных осадков (10 мм в водном эквиваленте). При этом за семь зимних месяцев (X-VI) в наледях аккумулируется 70 млн. м³ воды. Объем льда, образующийся к началу весеннего периода в исследуемом

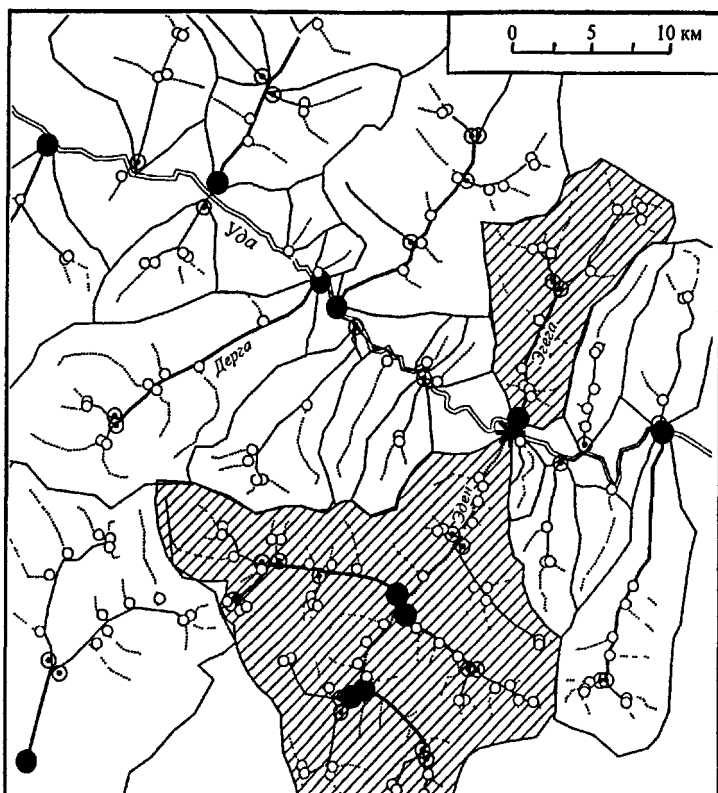
районе, превышает показатель, полученный по принятым методикам, в 6 раз. Из общих льдозапасов на речной кристаллический лед и речные наледи приходится 38 %, на наледи подземных вод 60 %, менее 3 % составляют наледи талых снеговых вод.



Запасы льда на реках распределены неравномерно. В руслах горных рек I-II порядка формируется маломощный ледяной покров, который не имеет существенного значения в водном балансе речных систем. Большая часть льдозапасов формируется в руслах водотоков ПМВ порядков (88-95 %) и аккумулируется в наледном льду. В руслах рек более высоких порядков речной кристаллический лед составляет примерно половину ледяной толщи (55%).

Нами предложен новый способ картографического отображения льдозапасов на реках с учетом структуры русловой сети, который существенно облегчает проведение пространственного анализа распределения ледовых ресурсов. Составлена карта русловых запасов льда в масштабе 1:100 000 на территорию площадью более 9 тыс. км². На карте отражены рассчитанные удельные объемы льда на 2500 водотоках различного порядка и общие запасы ледяной массы в долинах, зафиксированные в устьях рек. В легенде приведены объемные диаграммы распределения льда, характеристики структуры ледяного покрова, показатели питания и стока рек. Фрагмент карты в черно-белом варианте показан на рис. 3.

Запасы льда в русловой сети существенно сказываются на водном режиме горных рек. В условиях широкого распространения многолетней мерзлоты и дефицита весенних атмосферных осадков наледный и речной лед вместе со снежным покровом является мощным источником питания рек. Зимой, наоборот, расходы воды в реках существенно сокращаются, поскольку часть водных ресурсов идет на формирование наледей и речного кристаллического льда. Этот характерный процесс природного регулирования подземного и поверхностного стока непременно должен учитываться при расчетах элементов водного баланса горных территории.

Установлено, что большие запасы руслового льда на средних и больших реках влияют на формирование весенних паводков, создают условия для формирования ледовых заторов, приводящих к катастрофическим последствиям. Они могут существенно осложнить функционирование гидротехнических сооружений (мостов, труб, переправ и др.). Вместе с тем лед на реках зимой представляет собой естественные дороги, по которым осуществляется передвижение людей, животных, транспортных средств и пр. В этом проявляется положительное значение ледяного покрова на реках.



 Экспериментальные речные бассейны
 Расчетные речные бассейны

Порядок водотока		Средняя длина реки, км	Удельный объем льда, тыс. м ³ /км		Общий объем льда на водотоке	
№	условный знак		речного	наледного	млн. м ³	условный знак
I		1.7	0.1	0.5	0.001	○
II	∧/∨	3.2	0.9	2.1	0.01	⊙
III	∧/∨	7.0	3.8	72	0.5	●
IV	/ /	15.6	7.5	62	1.1	✱

Рис. 3. Фрагмент Карты русловых запасов льда в бассейне р. Уды

Есть основания полагать, что полученные выводы можно распространить не только Восточные Саяны в целом, но и на другие горные регионы Восточной Сибири с близкими климатическими условиями. Результаты исследований позволяют внести коррективы в методику оценки снежно-ледовых ресурсов криолитозоны и расчет гляцио-гидрологических характеристик малых и средних рек. Предложенный способ картографирования льдозапасов рекомендуется использовать при недостаточном количестве данных.

Основные результаты исследований и положения диссертации опубликованы в следующих работах

1. Основные этапы изучения наледей Байкальского региона // Материалы X науч. совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. - Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 1999. - С. 88-90.

2. Опыт изучения наледей в горах Восточного Саяна // Материалы X науч. совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. - Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 1999. - С. 9-11 (соавт. В.Р.Алексеев).

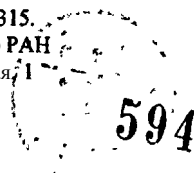
3. Закономерности распространения и морфодинамические особенности наледей Восточного Саяна // География Азиатской России на рубеже веков: Материалы XI науч. совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. - Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2001. - С. 29-30 (соавт. В.Р.Алексеев).

4. Основные закономерности развития наледей в центральной части Восточного Саяна // Материалы VII науч. совещ. по прикладной географии. - Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2001. - С. 66-68.

5. Оценка русловых запасов льда на реках центральной части Восточного Саяна // География: новые методы и перспективы развития: Материалы XV конф. молодых географов Сибири и Дальнего Востока. - Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2003. - С. 15-16.

6. Наледи и русловые запасы льда в горах Сибири // Рациональное использование и охрана водных ресурсов в изменяющейся окружающей среде: Материалы междунар. науч. конф. - Ереван, 2004. - С. 38-42 (соавт. В.Р.Алексеев).

Подписано к печати 12.05.2005 г.
Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 315.
Издательство Института географии СО РАН
664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1



5002 НСН 60