
**ПРИРОДНЫЕ
И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

УДК 556.16"32"(282.256.86)

**ТЕКТОНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА
ВОДОТОКОВ ВЕРХНЕЙ КОЛЫМЫ**

© 2017 г. В. Е. Глотов, Л. П. Глотова, М. В. Ушаков

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН),
ул. Портовая, д. 16, г. Магадан, 685000 Россия.*

E-mail: geoeocol@neisri.ru; glotova@neisri.ru; mvilorich@narod.ru

Поступила в редакцию 12.05.2016 г.

Выявлена связь геодинамической природы террейнов с длительностью становления ледостава и промерзания рек бассейна Верхней Колымы, расположенного в горном районе сплошной криолитозоны. Методами геолого-гидрогеологического районирования, анализа материалов о стоке рек в зимнюю межень и их статистической обработки установлены различия в длительности ледовых процессов. Они лимитируются размерами водосборных площадей и особенностями геологической истории дренируемых блоков земной коры. Наиболее краткий период становления ледостава и наибольшая длительность промерзания (от 168 сут) свойственны водотокам на площади Иньяли-Дебинского субтеррейна зоны коллизионно-аккреционных взаимодействий литосферных плит. Наиболее длительное становление ледостава и наименьший период промерзания (от 140 сут) на реках, дренирующих Омудевский террейн – фрагмент пассивной континентальной окраины.

Ключевые слова: *Верхняя Колыма, террейн, зимняя межень, промерзание рек, ледостав, водосборная площадь.*

Водосборная площадь р. Колыма по замыкающему створу “р. Колыма – пос. Усть-Среднекан”, равная 99 400 км², известна как “бассейн Верхней Колымы” или “Верхняя Колыма”. Промышленное ее освоение началось в 1930-е гг. с открытием уникальных по запасам месторождений россыпного золота. В настоящее время эта территория – один из самых значимых в России поставщиков золота и серебра на внутренний и международный рынок. Это обстоятельство стало основной причиной того, что бассейн Верхней Колымы на северо-востоке России относится к наиболее изученным в геокриологическом, гидрогеологическом и гидрологическом отношениях.

Анализ накопленных материалов многолетних гидрологических и гидрогеологических исследований позволил авторам выявить значимую роль террейновой тектоники в режиме стока рек в зимнюю межень [3], изучить участие современных микроподвижек литосферных плит в аномальных изменениях режима зимнего водного стока рек бассейна Верхней Колымы [4, 5], поэтому представляет теоретический интерес наличие связи ледовых явлений на водотоках с тектоникой рассматриваемого региона. С практической точки

зрения, изучение режима ледовых явлений необходимо для организации хозяйственного и производственного водоснабжения; использования рек как приемников жидких стоков горнопромышленных комбинатов; устройства временных автодорог (“зимников”) по долинам рек. Теоретическая и практическая значимость процессов, происходящих на реках в зимнюю межень, подчеркивается и усилением внимания к ним со стороны зарубежных исследователей [14–16].

Цель статьи – показать влияние тектонических особенностей Верхней Колымы на длительность ледостава и процесса промерзания рек.

Основной метод исследования – районирование территории бассейна Верхней Колымы по геологическим и гидрогеологическим особенностям. Для каждого выделенного района рассчитывались показатели речного стока, длительность ледостава и промерзания рек, строились графики связи продолжительности полного промерзания с площадью водосбора. Параметры уравнений регрессии определялись методом наименьших квадратов.

В работе использовались данные многолетних наблюдений за стоком на гидрологических постах

Колымского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (КУГМС), которые опубликованы в сводных работах [9] и Гидрологических ежегодниках Государственного водного кадастра России за 1981–2014 гг. Сведения о среднегодовых температурах воздуха и количестве осадков получены в КУГМС. Для характеристики гидрогеологических особенностей региона использованы опубликованные материалы, ссылки на которые приведены в списке литературы.

Объект исследования – водосборная площадь Верхней Колымы.

Предмет исследования – притоки р. Колыма, промерзающие после прекращения стока.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Общеизвестно, что формирование общего водного стока связано с такими факторами, как климат, рельеф, геологические, гидрогеологические и геохронологические особенности.

Климат Верхней Колымы резко континентальный с длительным (>7 мес.) холодным периодом года, когда среднесуточная температура воздуха колеблется от -21.7°C (пос. Хатыннах) до -27.8°C (пос. Аркагала). Теплый период года (май–сентябрь) характеризуется средней суточной температурой выше 0°C . Средняя температура за этот период – от 5.4°C (пос. Бутугычаг) до 9.7°C (пос. Эльген). Среднее годовое количество осадков – от 267 мм (пос. Аркагала) до 453 мм (пос. Оротукан). Осадков, преимущественно в виде снега, в пределах конкретных площадей в речных долинах выпадает меньше, чем на водоразделах. Среднегодовая температура в долинах также ниже, а на водоразделах выше. В этом проявляется зимняя инверсия температур. В теплое время года температура на водоразделах на $3-4^{\circ}\text{C}$ ниже, чем в долинах [7].

В **орографическом** отношении территория Верхней Колымы относится к пенепленезированному нагорью с абсолютными отметками не более 1300 м. Крутизна склонов северной экспозиции $25-35^{\circ}$, иногда круче, южных – менее 25° . Водоразделы округлые или плоские. На участках развития интрузивных массивов рельеф альпинотипный, средне- и высокогорный с абсолютными отметками вершин до 2200 м.

Геологические особенности изучаемой территории определяются ее принадлежностью юго-восточному окончанию Яно-Колымского юрско-раннемиелового орогенного пояса (рис. 1). В строении его

принимают участие Омудевский и Куларо-Нерский террейны, объединяемые в Индигино-Омолонский супертеррейн. С юга к нему примыкают Верхоянский и Вилигинский, значительные площади которых перекрыты вулканогенными образованиями мелового Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса (ОЧВП). Формирование орогенного пояса началось в поздней юре и завершилось в неокоме (нижний мел) в обстановке коллизионного взаимодействия Индигино-Омолонского супертеррейна с Евразийской и Северо-Американской плитами. Коллизия сопровождалась не только субгоризонтальными смещениями блоков, но и метаморфизмом осадочных пород до начальных ступеней амфиболовой фации, интенсивным гранитным магматизмом [1].

В соответствии с этими общими структурными особенностями отметим наиболее характерные черты строения верхнеколымских террейнов, под которым понимаются *блоки земной коры, отличающиеся своей геологической историей и стратиграфической последовательностью геологических комплексов, сформированных в определенной геодинамической обстановке*. Террейны могут подразделяться на субтеррейны со сходной, но имеющей отличия геологической историей [11].

Омудевский террейн – фрагмент пассивной континентальной окраины сложен карбонатными и терригенно-карбонатными толщами нижнего и среднего палеозоя.

Куларо-Нерский террейн – фрагмент турбидитового континентального склона сложен терригенными породами пермского, триасового и юрского возраста. По комплексу структурно-формационных признаков на изучаемой территории в Куларо-Нерском террейне выделены Иньяли-Дебинский синклиний (субтеррейн) и Аян-Юрхский антиклинорий (субтеррейн), разделенные Чай-Юрьинским глубинным разломом.

В осевой части Иньяли-Дебинского субтеррейна развиты средне- и верхнеюрские терригенные образования (алевролиты, глинистые сланцы, песчаники), а крылья сложены литологически сходными образованиями нижней юры и триаса. Этот субтеррейн А.Д. Чехов считает троговым (как и Аян-Юрхский), но преобразованным в ходе субдукционно-аккреционных и сдвигово-коллизионных событий в поздней юре – неокоме [12].

Аян-Юрхский субтеррейн в осевой части сложен пермскими породами, на крыльях его развиты осадочные ниже- и верхнетриасовые (карнийские) отложения. Антиклинорий расчленен значительным количеством разломов,

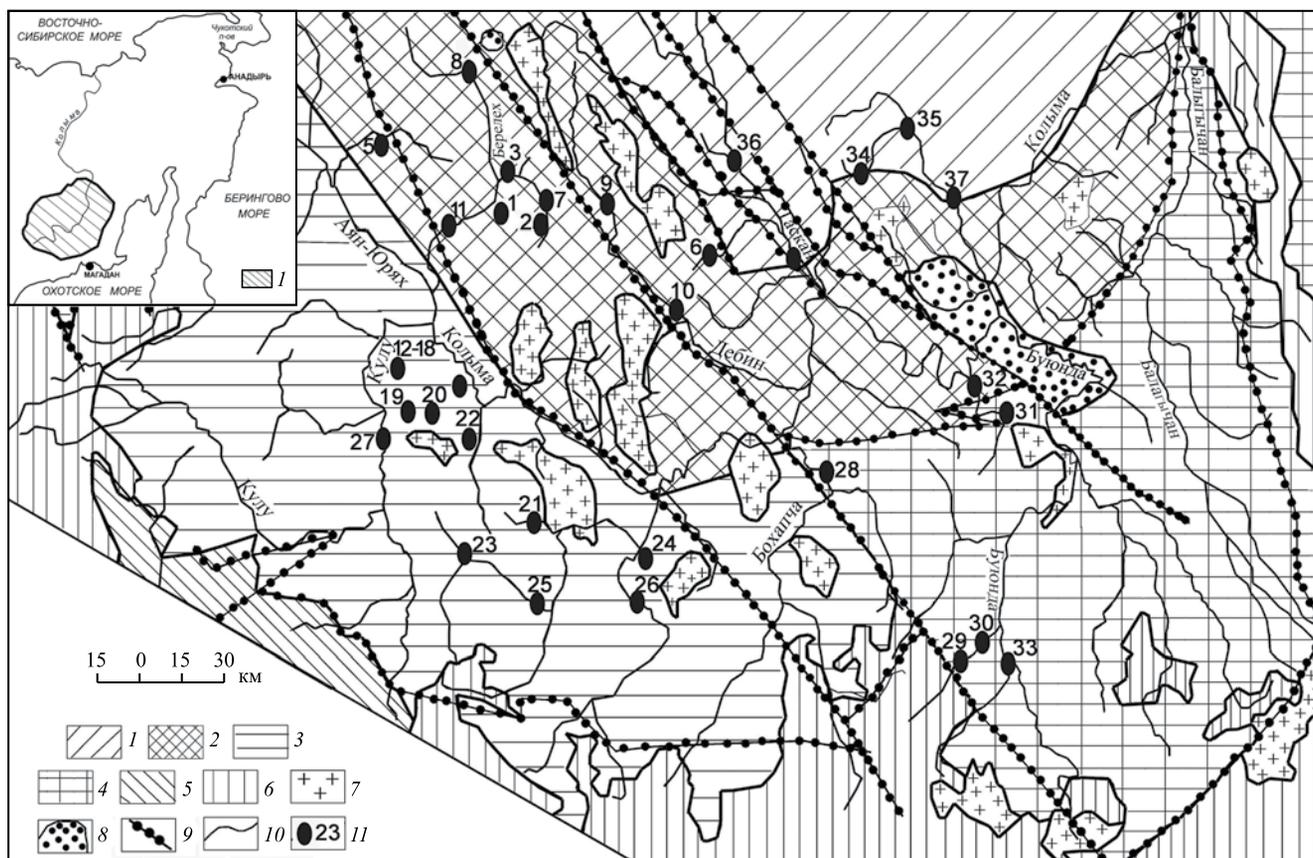


Рис. 1. Структурно-гидрогеологическая схема Верхней Колымы [3]: 1 – система гидрогеологических массивов и артезианских бассейнов Омудевского террейна; 2–3 – система гидрогеологических массивов, адмассивов, артезианских бассейнов Куларо-Нерского террейна: 2 – Иньяли-Дебинского и 3 – Аян-Юряхского субтеррейна; 4–5 – система гидрогеологических массивов, адмассивов, адбассейнов, вулканогенных супербассейнов, артезианских бассейнов: 4 – Вилигинского террейна; 5 – Верхоянского прогиба; 6 – система гидрогеологических массивов, вулканогенных супербассейнов и малых артезианских бассейнов Охотско-Чукотского вулканогенно-плутонического пояса; 7 – гидрогеологические массивы на базе гранитных интрузий; 8 – малые артезианские бассейны с осадочным чехлом кайнозойского возраста; 9 – глубинные разломы; 10 – предполагаемые границы террейнов; 11 – гидрометрические посты, их номера по табл. 1. На врезке: 1 – бассейн Верхней Колымы.

прорван крупными телами гранитов выше замыкающего створа у пос. Дебин и гранодиоритов. В зоне Чай-Урынского разлома находится долина р. Колыма, поэтому левобережные ее притоки дренируют Иньяли-Дебинский субтеррейн, а правобережные – Аян-Юряхский.

Верхоянский террейн сформировался в обстановке пассивной окраины Северо-Азиатского кратона и сложен терригенными и карбонатными породами от рифея до раннего мезозоя.

Вилигинский террейн – фрагмент задугового бассейна по сложной системе надвигов и сдвигов граничит с Куларо-Нерским. Юго-восточная и южная части террейна перекрыты вулканогенными комплексами охотской ветви ОЧВП. В бассейне Верхней Колымы представлен Буюндино-Балыгычанским районом пологих дислокаций, отличающимся слабо наклонным залеганием пермских, триасовых

и юрских терригенных отложений. Это объясняется тем, что накопление и преобразование осадков происходили в задуговом бассейне на пассивной окраине Охотского и Омолонского кратонов.

Вулканогенные комплексы ОЧВП представлены лавами и туфами кислого состава мелового возраста. Есть поля палеогеновых базальтов. Широко развиты разломы, гранодиоритовые и гранитные интрузии.

Наложённые впадины – постаக்கреционные, обычно приурочены к зонам глубинных долгоживущих разломов. Во внутренних районах бассейна Верхней Колымы находятся впадины как кайнозойского, так и мезозойского возраста. Мощность осадочного чехла до 500–600 м. Площадь отдельных впадин не превышает 500 км², суммарная не более 5 тыс. км², т.е. менее 5% общей площади. Роль их в

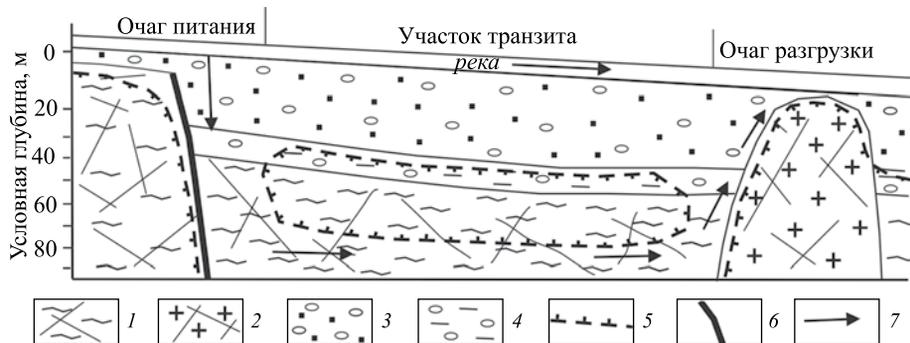


Рис. 2. Модель структуры зоны активного водообмена под руслом реки: 1 – трещиноватые терригенные скальные породы; 2 – трещиноватые интрузивные породы, 3 – аллювиальные водоносные отложения надмерзлотного талика, 4 – те же отложения, заглинизированные, 5 – граница многолетнемерзлых пород (бергштрихи обращены в сторону мерзлоты), 6 – зона разлома, 7 – направление движения воды.

формировании зоны активного водообмена незначительна и авторами не рассматривается.

Мерзотно-гидрогеологические условия Верхней Колымы достаточно детально освещены в монографии “Гидрогеология СССР”, т. 26 [2]. По данным бурения скважин, как на водоразделах, так и в речных долинах, можно судить, что подошва толщи многолетнемерзлых пород (ТММП) на водоразделах находится на глубинах 300, возможно, и более (до 500) метров. У подножий мощность ТММП сокращается до 150–180 м, а в днищах речных долин вблизи русла и под руслами малых рек и ручьев до 100 м. По отношению к ТММП выделяют воды надмерзлотные, подмерзлотные, сквозных таликов и внутримерзлотные. Из-за повсеместного перемерзания регионально развитой зоны гипергенной трещиноватости пород в формировании зоны активного водообмена участвуют воды сезонно-талого слоя (СТС), надмерзлотных и сквозных таликов. Графическая модель этой зоны показана на рис. 2. В активный водообмен вовлекаются и подмерзлотные трещинные воды массивов и адмассивов, прилегающих к сквозному талику. Однако, по многочисленным данным, наиболее водообильны трещиноватые породы в зонах разломов, до глубины 180–200 м от дневной поверхности.

Структурно-гидрогеологические особенности изучаемой территории отражены на рис. 1.

В гидрографическом отношении в бассейне Верхней Колымы наиболее крупными являются реки Кулу и Аян-Юрях, составляющие р. Колыма. Левобережные притоки последней – Берелех, Дебин, Таскан, Сеймчан; правобережные – Тенька, Детрин, Бохапча, Буюнда. Суммарные площади лево- и правобережных колымских притоков примерно равны. В питании рек основная роль принадлежит атмосферным осадкам. Роль многолетних снежников и

ледников ничтожно мала из-за их незначительного развития – 0.0008% общей площади [13]. Роль озер в питании рек более существенна, так как каждое из озер можно считать аккумулятором воды и тепла. К концу осенне-летней межени многие озера глубиной до 2 м и площадью менее 1 км² пересыхают. Такие озера составляют примерно 60% суммарной их площади при общей естественной заозеренности бассейна Верхней Колымы менее 0.5%. Наледное питание рек на отдельных участках определяет режим стока в летнюю межень [10]. Однако к окончанию летней межени наледный сток теряет свою значимость, как и озерное питание. Основной объем питания поступает за счет подземных вод зоны активного водообмена. В структуре этой зоны большое значение имеют воды сезонно-талого слоя, подрусловых надмерзлотных и сквозных таликов.

Роль подземных вод СТС в питании рек до сих пор недооценена. Около 50-ти лет назад А.С. Кузнецов и Ш.С. Насыбулин по результатам работ, выполненных на Колымской воднобалансовой станции, установили, что при сезонном протаивании горных склонов до глубины около 20 см поверхностный склоновый (ручейковый) сток полностью трансформируется в грунтовый даже во время обильных и продолжительных дождей [8]. Соответственно, сток воды из СТС контролируется его фильтрационными свойствами, которые, в свою очередь, связаны с геодинамической природой дренируемого рельефа. В начале зимней межени наиболее быстро (за 1–2 недели) срабатываются ресурсы подземных вод СТС на крутосклонных участках и в горных массивах с альпийским рельефом. В октябре ресурсы подземных вод СТС в основном исчерпаны, и главным источником питания рек становятся подрусловые надмерзлотные талики. В начале второй половины зимней межени (январь) существование стока в отдельных реках связано с поступлением

Таблица 1. Средние многолетние показатели питания рек подземными водами в осенне-зимнюю межень в террейнах бассейна Верхней Колымы

№ на рис. 1	Общие сведения о водотоке		Средний расход, м ³ /с/модуль подземного стока, л/с · км ²		
	водоток, замыкающий створ; площадь водосбора, км ²	среднегодовой расход, м ³ /с / модуль подземного стока, л/с · км ²	месяцы осенне-зимней межени		
			сентябрь	январь	период отсутствия или значение минимального стока
1	2	3	4	5	6
Иньяли-Дебинский субтеррейн (синклиний)					
1	Талок, устье; 65.2	0.27 / 4.2	0.41 / 6.3	нет стока	с 20.X по 05.V
2	Ягодный, 3.4 км от устья; 100	0.72 / 7.2	0.8 / 8	то же	с 20.X по 10.V
3	Амбардах, пос. Тангора; 135	1.12 / 8.3	1.2 / 8.9	- « -	с 20.X по 05.V
4	Чек-Чек*, пос. Штурмовой; 156	1.5 / 9.6	1.94 / 12	- « -	с 20.X по 20.V
5	Долгий, пос. Каменистый; 166	1.01 / 6	1.4 / 8.8	- « -	с 20.X по 08.V
6	Мал. Ат-Урях, пос. Горький; 239	1.53 / 6.4	2.6 / 10.7	- « -	с 20.X по 07.V
7	Мылга, устье; 909	9.78 / 10.8	9.52 / 10.5	- « -	с 15.XI по 10.V
8	Сусуман, пос. Тангора; 932	8.3 / 8.9	9.6 / 10.3	- « -	с 10.XI по 10.V
9	Берелех, пос. Ламут; 960	6.6 / 6.8	7.7 / 8	- « -	с 26.X по 20.V
10	Дебин, устье р. Омчиханджа; 1160	11 / 9.5	12.3 / 10.6	- « -	с 15.XI по 06.V
11	Дебин, пос. Беличье; 3460	30.4 / 8.8	35.6 / 10.3	- « -	с 10.XII по 05.V
12	Берелех, пос. Переправа; 4980	34.8 / 7	42.9 / 8.6	- « -	с 15.XI по 13.V
Аян-Юряхский субтеррейн (антиклиний)					
13	Южный*, устье; 0.27	0.002 / 5.2	1.6 / 6.1	нет стока	с 10.X по 17.V
14	Северный, лоток; 0.38	0.003 / 7	0.004 / 9.5	то же	с 20.X по 10.V
15	Встреча, устье; 5.35	0.037 / 7	41.41 / 7.4	- « -	с 20.X по 10.V
16	Неожиданный*, устье; 5.83	0.011 / 1.9	0.016 / 2.7	- « -	с 10.X по 08.V
17	Кривуля*, устье; 8.2	0.037 / 4.5	0.042 / 5.1	- « -	с 10.X по 05.V
18	Контактный Средний; 14.2	0.122 / 8.6	0.126 / 8.9	- « -	с 05.XI по 05.V
19	Контактный Нижний; 21,2	0.189 / 8.9	0.234 / 11	- « -	с 12.XI по 12.V
20	Подумай (подъемный); 42.6	0.33 / 7.8	0.45 / 10.6	- « -	с 15.XI по 04.V
21	Террасовый, Устье Подумай; 84	0.7 / 8.2	0.96 / 11.4	- « -	с 20.XI по 12.V
22	Омчак, пос. Омчак; 151	1.37 / 9.1	1.6 / 10.6	- « -	с 18.X по 06.V
23	Вакханка, устье; 185	1.6 / 8.9	2.04 / 11.02	- « -	с 25.X по 11.V
24	Анмангында, трасса; 400	3.64 / 9.6	4.85 / 12.1	0.006 / 0.015	с 10.I по 25.IV
25	Омчуг, пос. Усть-Омчуг; 583	4.2 / 7.1	5.62 / 9.6	нет стока	с 12.XI по 15.V
26	Тенька, 2,2 км выше устья; 1820	14.9 / 8.2	21.4 / 11.8	0.056 / 1.2	0.012 / 0.006
27	Детрин, устье р. Вакханка; 5630	51.1 / 9.1	80.4 / 14.3	0.92 / 0.016	0.19 / 0.03
28	Кулу, пос. Кулу; 10300	93.1 / 9	130 / 12.6	2.77 / 0.27	1.1 / 0.11
29	Бохапча, устье; 13600	123 / 9	148 / 10.9	2.37 / 0.17	0.68 / 0.05

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
Вилигинский террейн					
30	Гряды*, пос. Буркот; 8.52	0.071/8.3	0.078/9.2	нет стока	с 15.X по 20.V
31	Таборный, устье; 10.6	0.11/ 0.6	0.13 /12.3	то же	с 17.X по 10.V
32	Аннушка, устье; 22.8	0.29/12.8	0.41 /18	- « -	с 04.XI по 12.V
33	Среднекан, пос. У.-Среднекан; 1750	18.2/10.4	22.2/12.7	0.19/0.11	0.042/0.024
34	Буюнда ниже устья р. Буркот; 9090	84.1/9.25	102/11.2	3.41/0.38	1.58/0.17
Омулевский террейн					
35	Листвяжный*, 1.3 км от устья; 15.6	0.12/7.7	0.14/9	нет стока	с 20.X по 20.V
36	Верина, пос. Каньон; 218	2.64/12.1	2.78/11.8	нет стока	с 10.XII по 25.V
37	Сеймчан, 2,1 км выше руч. Чапаев; 2920	32.8/11.2	37.9/13	0.083/ 0.03	0.001/–
38	Таскан, пос. Таскан-2; 9970	71.6/7.2	85.1/8.5	3.24/0.03	2.46/0.025
39	Ясачная**, с. Нелемное; 32000	373/11.7	471/14.7	25.4/0.79	21.5/0.67

*Водотоки дренируют гранитный массив.

**За пределами рис. 1.

воды из глубоких подрусловых таликов, мощность которых превышает 5–7 м, и сквозных водовыводящих. Роль последних превалирует в конце зимней межени (март – апрель).

С учетом изложенных представлений составлена табл. 1, в которой для террейнов разной геодинамической природы показаны основные характеристики речного стока (расхода и модуля стока) как среднегодового, так и в зимнюю межень, когда они наиболее полно отражают изменения ресурсов подземных вод зоны активного водообмена.

Хорошо заметно, что в сходных мерзлотно-гидрогеологических обстановках наиболее благоприятные условия для развития зоны активного водообмена существуют в пределах террейнов, геодинамическая природа которых определяется принадлежностью к пассивным континентальным окраинам, не претерпевших интенсивных коллизионных взаимодействий. Наименьшей водообильностью отличается зона активного водообмена на площади Иньяли-Дебинского субтеррейна. На площади этого террейна не выявлены водотоки со стоком в продолжении всей зимней межени. В пределах террейнов – фрагментов пассивной континентальной окраины – водотоки с водосборной

площадью более 1000 км² сток происходит всю зимнюю межень.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ

При описании ледового режима рек северо-востока России принято различать:

– *непромерзающие*, сток в которых существует до окончания зимней межени;

– *периодически и эпизодически промерзающие*, сток в которых происходит в отдельные годы;

– *промерзающие*, сток в которых ежегодно прекращается после ледостава; под сплошным ледяным покрытием.

Есть водотоки, в которых сплошной ледяной покров не образуется, так как сток прекращается до завершения ледостава [9].

Внимание авторов полностью сосредоточено на промерзающих реках. Из рассмотрения исключены водотоки, долины которых выше замыкающего створа более чем на 50% техногенно преобразованы, такие как рр. Оротукан, Чай-Урья, Мальдык, Утиная и др.

Ледовые явления на малых реках начинаются с появления заберегов, почти одновременно с образованием шуги. Смерзание шуги и заберегов приводит к образованию сплошного ледяного покрова

Таблица 2. Средние многолетние показатели длительности ледовых явлений на промерзающих водотоках Верхней Колымы [9]

№ на рис. 1	Водоток, замыкающий створ; площадь водосбора, км ²	Расход, м ³ /с/ /модуль подземного стока, л/с · км ² , за октябрь	Средняя многолетняя длительность ледовых явлений (сут)			
			ледостав		промерзание	
			начало (дата)	длительность	начало (дата)	длительность
Иньяли-Дебинский субтеррейн (синклинорий)						
1	Талок, устье; 65.2	0.044 / 0.67	26.IX	5	23.X	199
2	Ягодный, 3.4 км от устья; 100	0.05 / 0.5	07.X	9	24.X	200
3	Амбардах, пос. Тангора; 135	0.091 / 0.67	27.IX	8	25.XI	201
4	Чек-Чек, пос. Штурмовой; 156	0.22 / 1.4	03.X	9	01.XI	199
5	Долгий, пос. Каменистый; 166	0.043 / 0.26	05.X	11	24.XI	196
6	Мал. Ат-Урях, пос. Горький; 239	0.32 / 1.4	04.X	9	23.X	193
7	Мылга, устье; 909	1.48 / 1.63	26.IX	10	19.XI	180
8	Сусуман, пос. Тангора; 932	1.12 / 1.2	27.IX	12	01.XII	189
9	Берелех, пос. Ламут; 960	1.4 / 1.46	н.с.*	н.с.	28.X	206
10	Дебин, устье р. Омчиханджа; 1160	1.67 / 1.44	26.IX	10	10.XI	184
11	Дебин, пос. Беличь; 3460	5.1 / 1.47	01.X	15	22.XII	143
12	Берелех, пос. Переправа; 4980	6.37 / 1.28	29.IX	16	05. XII	168
Аян-Юряхский субтеррейн (антиклинорий)						
20	Подумай (подъемный); 42.6	0.094 / 2.21	05.X	8	19.XI	172
21	Террасовый, Устье Подумай; 84	0.14 / 1.57	02.X	9	26.XI	173
22	Омчак, пос. Омчак; 151	0.13 / 0.86	03.X	9	11.XI	185
23	Вакханка, устье; 185	0.34 / 1.88	05.X	8	26.XI	187
24	Анмангында, трасса; 400	1.84 / 4.6	07.X	14	25.XII	135
25	Омчуг, пос. Усть-Омчуг; 583	0.78 / 1.34	03.X	11	14.XI	170
Вилигинский террейн						
31	Таборный, устье; 10.6	0.024 / 2.26	02.X	5	н.с.	н.с.
32	Аннушка, устье; 228	0.056 / 2.46	05.X	19	н.с.	н.с.
Омулевский террейн						
35	Листвяжный, 1.3 км от устья; 15.6	0.013 / 0.83	23.IX	5	12.X	209
36	Верина, ГМС Каньон; 218	0.82 / 3.76	30.IX	12	03.XII	179

*н.с. – нет сведений.

(ледостава). Промежуток времени от даты образования устойчивых заберегов до ледостава считаются длительностью его становления. За начало весеннего разрушения ледяного покрова (в первой декаде мая) принята дата появления проточной воды на поверхности льда. Время от даты прекращения стока в промерзающем водотоке до даты появления стока – длительность промерзания. В табл. 2 приведены показатели длительности ледовых явлений, рассчитанные по данным о

средних многолетних сроках их начала и окончания для репрезентативных водотоков. Авторы посчитали уместным привести в данной таблице и средние многолетние показатели стока в октябре (месяц формирования ледостава).

Для физико-статистического анализа использованы материалы наблюдений всех постов промерзающих рек на площадях изучаемых террейнов, в том числе примыкающих к бассейну Верхней Колымы. Были построены кривые связи средней продолжительности промерзания рек с площадью их водосбора (рис. 3).

$$L_1 = 238.3 - 26.40 \ln(A + 1)^{0.333}, \quad (1)$$

(коэффициент детерминации $R^2 = 0.64$),

$$L_2 = 229.7 - 33.48 \ln(A + 1)^{0.333}, \quad (R^2 = 0.64), \quad (2)$$

$$L_3 = 256.3 - 39.97 \ln(A + 1)^{0.333}, \quad (R^2 = 0.77), \quad (3)$$

$$L_4 = 241.7 - 38.47 \ln(A + 1)^{0.333}, \quad (R^2 = 0.56), \quad (4)$$

где L_1, L_2, L_3, L_4 – средняя продолжительность промерзания рек Иньяли-Дебинского субтеррейна (1), Аян-Юряхского субтеррейна (2), Омuleвского (3) и Вилигинского террейнов (4), сут; A – площадь водосбора, км².

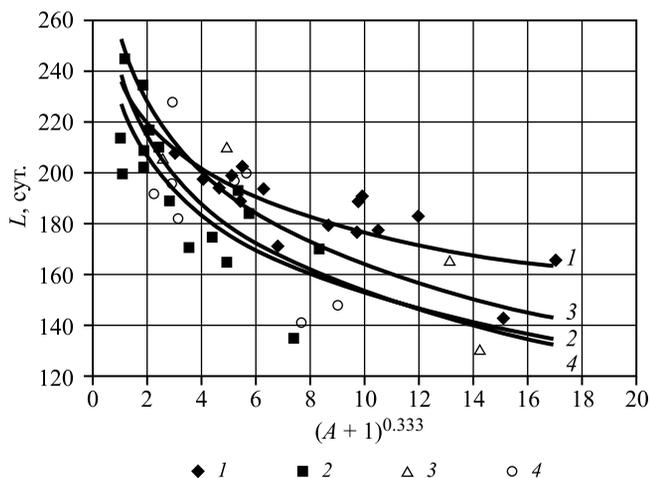


Рис. 3. Семейство кривых связи средней продолжительности промерзания рек с площадью водосбора: 1 – Иньяли-Дебинского и 2 – Аян-Юряхского субтеррейнов, 3 – Омuleвского и 4 – Вилигинского террейнов.

Для сравнения скажем, что теснота связи $L = f(A + 1)^{0.333}$, построенной для всего рассматриваемого бассейна без районирования хуже ($R^2 = 0.54$).

Попытки улучшить качество расчетных формул путем использования среднегодовых и средних за сентябрь расходов воды не привели к положительным результатам. Однако добавление в качестве предиктора среднегодовой темпера-

туры воздуха (T) повысило качество расчетных формул:

$$L_1 = 127.4 - 11.70 (A + 1)^{0.2} - 7.94T, \quad R^2 = 0.72, \quad (5)$$

$$L_2 = 135.5 - 24.46 (A + 1)^{0.2} - 9.50T, \quad R^2 = 0.66, \quad (6)$$

$$L_3 = 18.2 - 16.69 (A + 1)^{0.2} - 18.74T, \quad R^2 = 0.86, \quad (7)$$

$$L_4 = 227.4 - 26.01 (A + 1)^{0.2} - 2.02T, \quad R^2 = 0.62. \quad (8)$$

Верификация предложенных формул показала, что средняя ошибка расчета продолжительности промерзания рек составляет 6.2%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ длительности ледовых явлений и статистические связи длительности промерзания рек с их водосборной площадью в пределах террейнов разной геодинамической природы подчеркивают, что тектонический контроль распространяется и на специфические явления, свойственные северным рекам в зимнюю межень (ледостав, промерзание).

По данным табл. 2 и рис. 3 можно заметить, что при равных водосборных площадях длительность становления ледостава и подледного стока на водотоках Иньяли-Дебинском субтеррейна меньше, чем в террейнах иной геодинамической природы. Объяснить особенности ледового режима на реках можно тем, что блоки земной коры, сложенные геологическими комплексами, сформировавшиеся в относительно спокойных геодинамических обстановках, при выветривании, разрывных и складчатых деформациях образуют зоны трещиноватых пород с высокими фильтрационными свойствами. Это благоприятствует образованию подрусловых сквозных таликов как водопоглощающих, так и водовыводящих. Разгрузка подземных вод сквозных таликов не только способствует увеличению стока рек в зимнюю межень, но и вызывает возрастание мощности надмерзлотных подрусловых таликов, продлевая длительность ледостава и сокращая период промерзания.

Полагаем также, что минералы пород турбидитовой формации, испытывавшие коллизионные воздействия, подвержены глинизации в зоне гипергенеза в большей степени, чем минералогически сходные породы террейнов, преимущественно возмывавшиеся во второй половине мезозоя. Уже более 50 лет назад гидрогеологи обратили внимание на то, что гравийно-галечные подрусловые отложения на площади Иньяли-Дебинского субтеррейна насыщены глинистым материалом и характеризуются коэффициентами фильтрации менее 70 м/сут, в то время как на площади Аян-Юряхского антиклинория, Вилигинского и Омuleвского террейнов этот параметр колеблется от 100 до 1200 м/сут [6]. Изменения физических свойств пород и минералов

в связи с геодинамической природой террейнов до настоящего времени не изучались. Однако ими можно объяснить увеличение модулей подземного стока в октябре на террейнах — фрагментах пассивной континентальной окраины (Вилигинском, Омудевском).

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования показывают, что в горных районах криолитозоны, репрезентативным объектом которых является территория бассейна Верхней Колымы, режим стока рек в зимнюю межень контролируется геодинамической природой дренируемых террейнов. Тектонический контроль проявляется и в длительности таких ледовых явлений зимней межени, как становление ледостава и промерзание рек.

Выведены формулы, связывающие площадь водосбора, среднегодовые температуры воздуха и длительность промерзания водотоков на участках террейнов с разной интенсивностью коллизионного воздействия. Различия этих формул указывают на необходимость при изучении режима рек в зимнюю межень учитывать геодинамическую природу террейнов, дренируемых реками. Можно полагать, что результаты такого изучения будут востребованы и при инженерно-геологических исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бялобжеский С.Г., Горячев Н. А., Шпикерман В.В. Яно-Колымский орогенный пояс // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / ред. В.И. Ханчук. В 2 кн. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 140–144.
2. Гидрогеология СССР. Т. 26. Северо-Восток СССР. М.: Недра, 1972. 297 с.
3. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Естественные нарушения подземного питания рек бассейна Верхней Колымы в зимнюю межень // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 1. С. 72–78.
4. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Роль террейновой тектоники в формировании подземного стока зоны активного водообмена в долинах горных рек криолитозоны // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 5. С. 93–104.
5. Глотов В.Е., Глотова Л.П., Ушаков М.В. Аномальные изменения режима водного стока реки Колымы в зимнюю межень // Криосфера Земли. 2011. Т. XV. № 1. С. 52–60.
6. Калабин А.И. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР // Тр. ВНИИ-1. Магадан: ВНИИ-1, 1960. Т. 28. 470 с.
7. Клюкин Н.К. Прикладной климатологический справочник Северо-Востока СССР. Магадан: Кн. изд-во, 1960. 428 с.

8. Кузнецов А.С., Насыбулин Ш.С. Особенности формирования стока на реках Верхней Колымы // Сб. работ МГМО. 1970. С. 52–65.
9. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Вып. 17. Бассейн р. Колыма и рек Магаданской области. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 430 с.
10. Пигузова В.М. Естественные ресурсы подземных вод // Гидрогеология СССР. Т. 26 / Под ред. О.Н. Толстихина. М.: Недра, 1972. С. 190–201.
11. Ханчук А.И., Голозубов В.В., Родионов С.М., Горячев Н.А., Симаненко В.П. Теоретические основы тектонического, геодинамического и металлогенического анализа // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2 кн. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 20–32.
12. Чехов А.Д., Прусс Ю.В. Почему Иньяли-Дебинский синклиниорий явился главным вместилищем колымского золота? // Золото северного обрамления Пацифики: тез. докл. Междунар. горно-геол. форума (Магадан, 10–14.09.2008 г.). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2008. С. 221–223.
13. Шило Н.А., Виноградов В.Н. Современное оледенение // Север Дальнего Востока / Отв. ред. Н.А. Шило. М.: Наука, 1970. С. 150–164.
14. Goderniaux P., Davy P., Bresciani E., de Dreuzy J.-R., Le Borgne T. Partitioning a regional groundwater flow system into shallow local and deep regional flow compartments // Water Resours Research. 2013. V. 49. P. 2274–2286.
15. Ming-ko Woo. Permafrost Hydrology. N.Y.: Springer Science & Business Media, 2012. 564 p.
16. Ming-ko Woo, Robin Thorne. Winter Flows in the Mackenzie Drainage System // Arctic. 2014. V. 67. No 2. P. 238–256.

REFERENCES

1. Byalobzheskii, S.G., Goryachev N. A., Shpikerman, V.V. Yano-Kolymskii orogennyi poiyas [Yano-Kolyma orogenic belt]. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii* [Geodynamics, magmatism, and metallogeny of the Russia's East]. Khanchuk, V.I., Ed., Vladivostok, Dal'nauka, 2006, book 1, pp. 140–144 (in Russian).
2. *Gidrogeologiya SSSR. Tom 26. Severo-Vostok SSSR* [Hydrogeology of the USSR. Vol. 26. Northeast of the USSR]. Moscow, Nedra, 1972, 297 p. (in Russian).
3. Glotov, V.E., Glotova, L.P. *Estestvennye narusheniya podzemnogo pitaniya rek basseina Verkhnei Kolymy v zimnyuyu mezhen'* [Natural disturbance of subsurface alimentionation of rivers in the Upper Kolyma basin in the winter low-water period]. *Kriosfera Zemli*, 2008. vol. 12, no. 1, pp. 72–78 (in Russian).
4. Glotov, V.E., Glotova, L.P. Rol' terreinovoi tektoniki v formirovanii podzemnogo stoka zony aktivnogo vodoobmena v dolinakh gornyx rek kriolitozony [The role of the terrain tectonics in the formation of groundwater flow zone of active water exchange in the valleys of the mountain rivers in permafrost zone]. *Tikhookeanskaya geologiya*, 2011, vol. 30, no. 5, pp. 93–104 (in Russian).

5. Glotov, V.E., Glotova, L.P., Ushakov, M.V. *Anomal'nye izmeneniya rezhima vodnogo stoka reki Kolymy v zimnyuyu mezhden'* [Abnormal changes in water flow regime of the Kolyma River in winter time]. *Kriosfera Zemli*, 2011, vol. 15, no. 1, pp. 52–60 (in Russian).
6. Kalabin, A.I. *Vechnaya merzlota i gidrogeologiya Severo-Vostoka SSSR* [Permafrost and hydrogeology of the USSR North-East]. *Trudy VNII-1* [Proceedings VNII-1], Magadan, VNII-1, 1960, vol. 28, 470 p. (in Russian).
7. Klyukin, N.K. *Prikladnoi klimatologicheskii spravochnik Severo-Vostoka SSSR* [Applied climatological reference of the USSR North-East]. Magadan, Kn. izd-vo, 1960, 428 p. (in Russian).
8. Kuznetsov, A.S., Nasybulin, Sh.S. *Osobennosti formirovaniya stoka na rekakh Verkhnei Kolymy* [Specific features of runoff formation in the rivers of the Upper Kolyma]. *Sb. rabot MGMO* [Collection of articles MGMO], 1970, pp. 52–65 (in Russian).
9. *Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushii. T.I. Vyp. 17. Bassein r. Kolyma i rek Magadanskoj oblasti* [Long-term data on the regime and resources of surface waters. V.I. Issue 17. River basin. Kolyma and Magadan region rivers.]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, 430 p. (in Russian).
10. Piguzova, V.M. *Estestvennye resursy podzemnykh vod* [Natural groundwater resources]. *Gidrogeologiya SSSR*, t.26 [Hydrogeology of the USSR, vol. 26], Tolstihin, O.N., Ed., Moscow, Nedra, 1972, pp. 190–201 (in Russian).
11. Khanchuk, A.I., Golozubov, V.V., Rodionov, S.M., Goryachev, N.A., Simanenkov, V.P. *Teoreticheskie osnovy tektonicheskogo, geodinamicheskogo i metallogenicheskogo analiza* [Theoretical foundations of tectonic, geodynamic and metallogenic analysis]. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii*. [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the Russia's East]. Khanchuk, V.I., Ed., Vladivostok, Dal'nauka, 2006, book 1, pp. 20–32 (in Russian).
12. Chekhov, A.D., Pruss, Yu.V. *Pochemu In'yali-Debinskii sinklinorii yavilsya glavnyim vmestilishchem kolym'skogo zolota?* [Why Inyali-Debinsky Synclinorium was a major repository of the Kolyma gold?] *Zoloto severnogo obramleniya Pacifiki: tez. dokl. Mezhdunar. gorno-geol. foruma (Magadan, 10-14.09.2008 g.)* [The Gold of the Pacific northern frame. Proc. Intern. Mining and Geological Forum]. Magadan, SVKNII DVO RAN, 2008, pp. 221–223 (in Russian).
13. Shilo, N.A., Vinogradov, V.N. *Sovremennoe oledeniye* [Modern glaciation]. *Sever Dal'nego Vostoka* [The Far East north] Shilo, N.A., Ed., Moscow, Nauka, 1970, pp. 150–164 (in Russian).
14. Goderniaux, P., Davy, P., Bresciani, E., de Dreuzy J.-R., Le Borgne T. Partitioning a regional groundwater flow system into shallow local and deep regional flow compartments. *Water Resource Research*, 2013, vol. 49, pp. 2274–2286.
15. Ming-ko Woo. *Permafrost Hydrology*. N.Y.: Springer Science & Business Media, 2012, p. 564.
16. Ming-ko Woo, Robin Thorne. Winter Flows in the Mackenzie Drainage System. *Arctic*, 2014, vol. 67, no. 2, pp. 238–256.

THE TECTONIC CONTROL OF THE ICE REGIME IN UPPER KOLYMA RIVERS

V. E. Glotov, L. P. Glotova, M. V. Ushakov

Shilo North-Eastern Complex Research Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Portovaya ul. 16, Magadan, 685000 Russia. E-mail: geoecol@neisri.ru; glotova@neisri.ru; mvilorich@narod.ru

The correlation was found between the terrain geodynamic origin and the duration of the ice-cover and the river freezing rivers in the Upper Kolyma basin, situated at the mountainous region of the continuous permafrost zone. With the geological and hydrogeological zoning methods and the analysis of the river flows data in winter low water and its statistical processing, the differences in durations of ice phenomena processes were established. The initialization of these phenomena depends on the year cold season's advent. The duration of the individual phases of ice regime are limited by the catchment area size and the tectonics, above all, by the geodynamic features of the drained Earth's crust blocks, i.e., terrains and subterrains. The importance of the tectonic factor is revealed by us for the first time. It was found that in the Upper Kolyma basin the Inyali-Debinsky subterrain streams differ from those with the similar catchment areas by a short period of the ice-cover and the subglacial drainage with the maximum freezing duration. Due to the tectonic specifics of the drained terrains, the dependence of the freezing rivers average duration on the catchment area is very significant (the determination coefficient $R^2 = 0.62-0.86$). If the tectonic factor is excluded, this correlation for the whole Upper Kolyma basin is expressed with the coefficient $R^2 = 0.54$. These facts are explained by the fact that in early Mesozoic the Inyali-Debinsky subterrain was subjected to collisional and accretional impacts, which were accompanied not only by the folded and discontinuous deformations, but also by the violation of the crystal structure of feldspars and plagioclases. In the hypergenesis zone, they were subjected to degradation and claying to a greater extent than the similar rock-forming minerals in the terrains of passive continental margins mainly subject to uplifting. For that reason the under-flow gravel-pebble deposits in the Inyali-Debinsky subterrain area are saturated with clay and are characterized by the percolation coefficient of less than 100 m/day, versus 1200 m/day in other terrains. Accordingly, the underground alimentation of the watercourses in winter low water goes more actively within the passive continental margins than at the subterrain, having experienced the complicated collisional and accretion impacts. Under similar physiographic conditions, the groundwater inflow impacts the duration of ice-cover and freezing periods and subglacial drainage.

Key words: *the Upper Kolyma, terrain, subterrain, catchment area, winter low water, freezing rivers, ice cover.*