

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ СУШИ

УДК 556.53 + 551.345+551.242.1

DOI: 10.15372/KZ20250503

EDN: TSBQAY

ТЕКТОНОГЕННЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФЕНОМЕНЫ
В ТАЛИКЕ НИЗКОПОРЯДКОВОГО ВОДОТОКА

В.М. Михайлов

*Северо-Восточная научно-исследовательская мерзлотная станция
Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 685000, Магадан, ул. Портовая, 16, Россия**E-mail: vmmikhailov@gmail.com*

Исследованы ландшафтно-гидрологические и гидрогеологические трансформации в долине II порядка, где сформированы водопоглощающие талики по двум линейным разломам и замыкающей нижний разлом изометричной депрессией. С использованием аэрокосмических материалов, натурных наблюдений и справочных данных обоснована гипотеза о тектонической обусловленности происходящих изменений. Как минимум до 1965 г. сток в долине ниже депрессии отсутствовал, максимальная интенсивность инфильтрации превышала $4 \text{ м}^3/\text{с}$. Поглощение поверхностных вод происходило главным образом в депрессии, там же откладывались поступающие с ними наносы. Впоследствии оба процесса здесь практически прекратились вследствие подъема днища впадины относительно тальвега ручья, и ниже по долине сформировалось полноценное русло. Инфильтрация при этом уменьшилась более чем на порядок, сохраняясь в основном в линейных разломах. Во впадине она происходит эпизодически на ее окраине, где образовался тектонический ров, вытянутый перпендикулярно руслу ручья. Сохраняющаяся тектоническая активность может обуславливать высокую интенсивность водопоглощения, вплоть до спонтанного сброса русловых вод. В зафиксированном случае сбросовый поток развивался в русле ручья, но в направлении, противоположном уклону его тальвега. Подобные явления не находят объяснений в рамках современных представлений о минимальных размерах подвижных тектонических блоков, что свидетельствует о необходимости их существенного расширения.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, талики, гидрогеологические процессы, эволюция водных объектов, мелкоблоковая тектоника, взаимосвязь поверхностных и подземных вод, ретроспективный анализ.

Ссылка для цитирования: Михайлов В.М. Тектоногенные гидрогеологические феномены в талике низкопорядкового водотока // Криосфера Земли, 2025, т. XXIX, № 5, с. 27–37. DOI: 10.15372/KZ20250503. EDN: TSBQAY.

TECTONOGENIC HYDROGEOLOGIC PHENOMENA IN THE TALIK OF A LOW-ORDER WATERCOURSE

V.M. Mikhailov

*North-Eastern Permafrost Research Station of the Melnikov Permafrost Institute,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Portovaya St. 16, Magadan, 685000 Russia**E-mail: vmmikhailov@gmail.com*

Landscape-hydrological and hydrogeological changes have been studied in a second-order creek valley with water recharge taliks formed along two linear faults and an isometric depression closing the lower fault. A hypothesis about the tectonic origin of these changes is advanced based on the analysis of aerospace materials, *in situ* observations, and reference data. At least until 1965, there was no runoff in the valley downstream of the depression, and the maximum water infiltration rate exceeded $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Surface water infiltration, together with the deposition of sediment load, took place mainly in the depression. Subsequently, both processes virtually stopped there because of the rise of the bottom of the depression relative to the valley thalweg, and a fully developed channel was shaped downstream. Surface water infiltration has decreased by more than an order of magnitude and is observed now mainly in the area of linear faults. In the depression, it occurs sporadically at its margin, where a tectonic ditch is perpendicular to the creek channel. The ongoing tectonic activity may cause high intensity of water intake, up to the spontaneous discharge of the channel flow. In the observed case, such a discharge flow developed in the channel in the direction opposite to the slope of the creek thalweg. Such spontaneous phenomena cannot be explained within the framework of modern concepts about the minimum size of mobile tectonic blocks and attest to the need for their revision.

Keywords: permafrost, taliks, hydrogeologic processes, evolution of waterbodies, small-block tectonics, surface-groundwater relationship, retrospective analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Влияние блоково-разломной тектоники на поверхностные и подземные воды и их взаимосвязь проявляются в различных пространственных и временных масштабах. Сведения о минимальных значениях обоих показателей разрознены и не дают адекватного представления об их нижних пределах. Первым значительным шагом в изменении этого положения стала работа Д.А. Лилиенберга [1993]: “до проведения повторного нивелирования в горах мы, *честно говоря*, не представляли, что площадная дифференциация современных вертикальных движений может проявляться в блоках с поперечниками *всего* в несколько сотен метров...” (с. 89, курсив мой – В.М.).

В диссертации [Баранская, 2015] также говорится о дифференцированных движениях блоков размерами в сотни метров, причем автор называет их *макроблоками*, подразумевая, по-видимому, что это не предельно малые размеры.

В статье С.Д. Шведова [2010] отмечен еще более низкий предел тектонической дифференциации. Описывая рельеф грабен-долин, автор сообщает, что их борта “...образованы сбросами, преимущественно ступенчатыми; расстояние между плоскостями сместителей ... колеблется от первых десятков до сотен метров, а амплитуда смещений по ним – от нескольких метров до десятков метров” (с. 14). Меньшие значения, насколько мне известно, в литературе не приводились, если не считать вторичные, производные образования – например, западины на днищах тектонических рвов [Шведов, 2010].

В статье [Михайлов, 2021] на ряде примеров показано, что на режим поверхностных и подземных вод и их взаимодействие оказывают существенное влияние тектонические процессы, развивающиеся в малых пространственных и(или) временных масштабах. Все исследованные участки расположены на Северо-Востоке России, в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, и взаимосвязь водных объектов с подземными водами осуществляется исключительно через талики, преимущественно сквозные. Соответствующие процессы сопровождаются рядом специфических, ранее не описанных эффектов. В настоящей работе подробно рассмотрены близкие по содержанию и движущим механизмам гидрологические и гидрогеологические явления, определяющие эволюцию сквозного тектоногенного талика на Охотско-Колымском водоразделе.

Общеизвестно, что из коренных пород для развития взаимосвязи поверхностных и подземных вод наиболее благоприятны карстующиеся породы; в этом отношении они сильно превосходят все остальные. Такие породы отсутствуют как на исследуемом участке, так и на прилегающей территории; это обстоятельство подчеркивает ис-

ключительную роль тектонических факторов. При этом некоторые наблюдаемые явления не находят объяснения в рамках существующих представлений о минимальных размерах подвижных относительно друг друга блоков. Поэтому настоящая публикация, наряду с предыдущей, 2021 г., нацелена также на то, чтобы привлечь внимание исследователей к недостаточности наших знаний по рассматриваемому кругу проблем.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Схема расположения участка исследований и его дистанционные снимки представлены на рис. 1. Он находится на Колымском склоне водораздела, в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Из коренных пород здесь преобладают эффузивы кислого и среднего состава. Известно [Уфимцев, 2002], что пояс ассоциирован с региональной системой разломов (проходящих в целом параллельно водоразделу), многие из которых в недавнее время были омоложены. Тектоническая активность выражается в комплексных дифференцированных блоковых движениях, в которых существенна также роль разломов, ориентированных перпендикулярно оси водораздела [Уфимцев, 2002]. Однако, судя по схеме, приведенной в работе [Калинина, Смирнов, 2017], а также на карте [Карта..., 2020], крупные активные разломы вблизи участка отсутствуют.

По характеру распространения многолетнемерзлых пород и режиму подземных вод А.И. Калябин в своей монографии [1960] выделил на Северо-Востоке пять районов. Суровость мерзлотных условий возрастает с удалением от морского побережья, от первого района к пятому. Согласно этому районированию, участок располагается во II мерзлотном районе, вблизи от его северной границы с III районом, и может быть отнесен к области сплошной криолитозоны. Интерполируя приведенные в этом источнике данные, заметим, что мощность многолетнемерзлых пород (ММП) в понижениях рельефа составляет 70–80 м, температура приблизительно от –1.5 до –3.0 °С. Деятельный слой имеет значительную величину, и надмерзлотные талики под водотоками распространяются на глубину до 5–10 м. Сквозные талики формируются под крупными непромерзающими реками и озерами, где режим подземных вод может носить застойный характер, а также на участках питания и выхода подмерзлотных вод. Приведенная в этой монографии обобщенная характеристика впоследствии не уточнялась и не корректировалась, конкретные сведения для близлежащей территории отсутствуют.

Обсуждаемый ниже фактический материал получен в результате собственных наблюдений автора (регулярные маршрутные обследования в те-

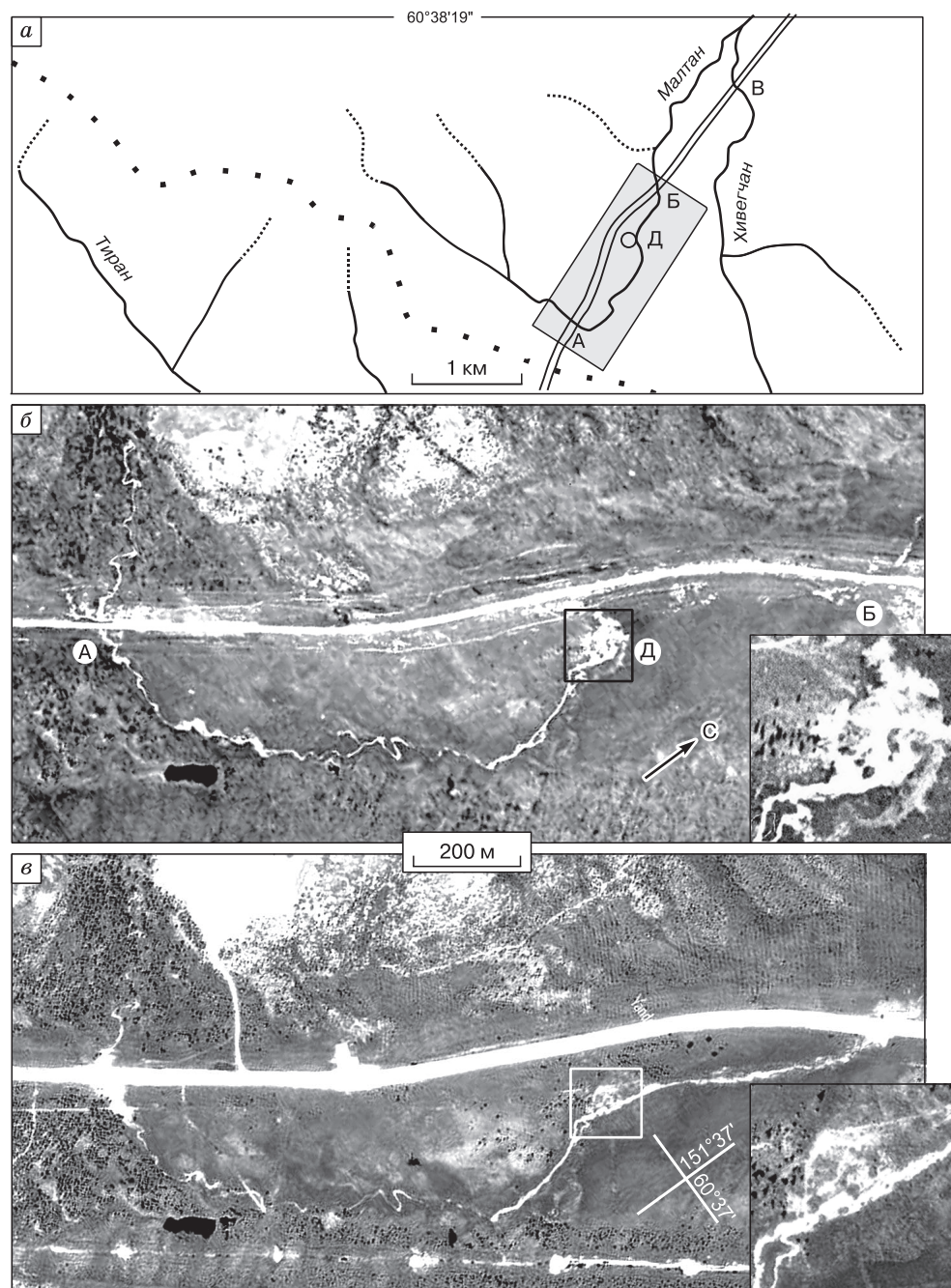


Рис. 1. Участок проведения исследований.

a – схема расположения (пунктиром обозначен водораздел, прямоугольником с заливкой выделен изучаемый участок, для которого приведены дистанционные изображения); *б* – аэрофотоснимок 1965 г.; *в* – спутниковый снимок сервиса “Яндекс карты” 2018 г. На рисунках *б* и *в* на врезках показан, в укрупненном масштабе, рассматриваемый ниже фрагмент ландшафта. Остальные обозначения и пояснения см. в тексте.

чение 10 лет (2013–2022) и инструментальные измерения, проведенные в самом начале этого периода), анализа справочных данных, картографических и аэрокосмических материалов и литературных источников; использованы также опросные сведения.

Инструментальные наблюдения включали вертикальные электроразведки (ВЭЗ), нивелирование характерных элементов рельефа и гидрометрические измерения с целью получения количественных оценок инфильтрации. Они были проведены на руч. Малтан и на близлежащем во-

дотоке руч. Хивегчан. Территориальная близость водосборов и сходные ландшафтные характеристики (подробнее ниже) позволяют использовать второй из них в качестве бассейна-аналога и, таким образом, оценить приток воды в русло Малтана, а соответственно, и потери из него стока на инфильтрацию при различных погодных условиях. Измерения осуществлялись по стандартной методике [Наставление..., 1972] детальным способом с увеличенным числом промерных вертикалей для получения максимальной точности результатов.

Гидрометрические работы проводились при помощи микровертушки ГМЦМ-1 в трех фазах гидрологического режима: 1) многоводный период, когда потери стока из долины Малтана на много превышали среднемесячные значения; 2) относительно маловодный период; 3) при промежуточных гидрологических условиях. Расход воды в руч. Хивегчан в первом случае составлял 21 % от средней максимальной величины (по ее зависимости от площади водосбора, выведенной в работе [Михайлов, 2014]), во втором был примерно равен среднеиюльскому значению (по сведениям справочника [Многолетние данные..., 1985] для водотоков с близкими водосборными площадями).

Методика качественной интерпретации результатов электроразведочных измерений подробно изложена в статье [Михайлов, Банцеекина, 2001].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ручей Малтан в верховьях, где он течет субпараллельно водоразделу (см. рис. 1, а), – типичный горный водоток со склонами умеренной крутизны (редко более 15°), покрытыми кедрово-стланниково-лиственничным редколесьем, выше сменяющимся щебнистыми осыпями. Отрезок от слияния двух потоков первого порядка до пересечения с автотрассой “Колыма” (точка А на рис. 1) далее называется верхним. Ниже по течению ручей круто поворачивает влево и протекает в широкой долине, через 1.5 км вновь пересекая автотрассу в точке Б, где его водосборная площадь составляет 7.76 км². На этом (“нижнем”) отрезке долина имеет пологие склоны и продольный уклон всего 0.013 (в 1.5 раза меньше по отношению к верхнему участку). По эмпирическим зависимостям, выведенным в работе [Михайлов, 2015], в горных сооружениях Северо-Востока России для долин равновеликих водотоков, вышедших из стадии глубинной эрозии, характерны как минимум вдвое большие уклоны.

На нижнем отрезке днище долины ручья выстелено щебнистыми элювиально-делювиальными отложениями и (ближе к тальвегу) гравийно-галечным аллювием с песчаным заполнителем, покрытыми маломощным слоем (до 0.4 м, местами, возможно, больше) илистого песка. Придорожные карьеры вскрыли коренные породы на

глубине около 2 м. Днище долины практически лишено древесной растительности, напоминая кустарниковую тундру (см. рис. 1, б, в). В его поперечном профиле отчетливые гипсометрические ступени отсутствуют; по большей части имеет место постепенное повышение отметок от бровок русла к подножиям склонов.

В 1.5 км вниз по течению от точки Б руч. Малтан сливается с руч. Хивегчан, который, следуя топонимике, является притоком Малтана, хотя его водосборная площадь больше в 2.5 раза (21.1 км² в точке В, см. рис. 1, а). Долина Хивегчана в ландшафтном отношении практически не отличается от вышеописанной. Ниже слияния уклон долины Малтана уменьшается незначительно, до 0.011. Далее на протяжении 25 км ручей принимает еще ряд притоков, три из которых в узлах слияния не уступают ему размерами, однако его долина сохраняет то же общее направление, что и на рис. 1, а (линия АБВ). Все эти черты складываются в картину наследования Малтаном долины более крупного водотока, обезглавленного путем вершинного перехвата. Такое предположение согласуется с общей конфигурацией речной сети (см. рис. 1, а) и представлениями об отступании Охотско-Колымского водораздела на его субширотном отрезке вглубь материка [Баранова, Бискэ, 1967; Шпикерман и др., 2016].

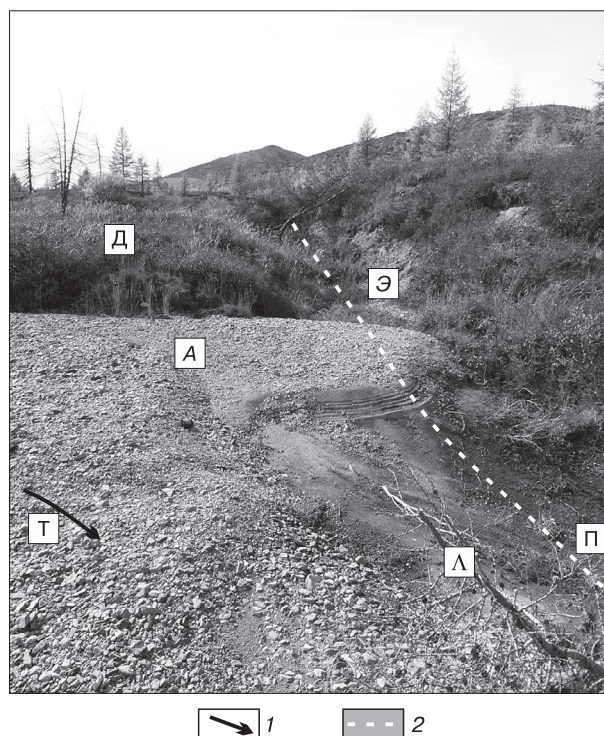
Самые неординарные эффекты современной тектоники, которые развиваются в течение очень короткого по геологическим меркам времени и определяют мерзлотно-гидрогеологическую обстановку в долине, сосредоточены вблизи русла Малтана. Наиболее примечательный элемент рельефа на рассматриваемом участке – неглубокая плоскодонная депрессия (точка Д на рис. 1), имеющая форму, близкую к окружности диаметром около 100 м (см. рис. 1, б). Со стороны оси долины депрессия граничит с руслом ручья, тальвег которого расположен примерно на 1 м ниже ее днища. На остальных участках периметра впадины ее днище лежит на 1.5–3.5 м ниже бровки склона, в зависимости от рельефа местности. Оно покрыто недавно отложенным гравийно-галечно-песчаным аллювием с разреженной травяно-кустарниковой растительностью – отсюда светлый тон соответствующих контуров на дистанционных снимках, резко контрастирующий с окружающим тундроподобным ландшафтом. Как следует из сравнения с космоснимком сервиса *n.maps.yandex.ru* (см. рис. 1, б, в), между 1965 и 2018 гг. как площадь, занятая контуром, так и контраст с окружающей местностью уменьшились; причины этого рассмотрены ниже.

Вдоль нижней по течению оконечности депрессии задернованный грунт с ее не затронутого общим опусканием обрамления сползает в свежесформированный ров, ориентированный поперек оси долины, в направлении восток–запад (рис. 1, 2).

Рис. 2. Ручей Малтан вблизи оконечности депрессии осенью 2013 г.

1 – направление течения при наличии стока; 2 – осевая линия тектонического рва. Обозначения: А – свежееотложенный аллювий; Д – днище депрессии; П – дно ближайшего к тальвегу провала; Т – тальвег ручья; Э – элювиально-делювиальные отложения; Л – погибшая лиственница.

Ров имеет ширину 1.5–2.5 м и местами засыпан грунтом, поступающим со склона, и аллювием, принесенным ручьем. Поэтому на местности ров выглядит как цепочка вытянутых ям (провалов), размеры которых убывают по мере удаления от русла. Их днища лежат ниже тальвега ручья, у самого глубокого провала – почти на 1 м (и на 4 м ниже близлежащей кромки депрессии). Провалы могут производить впечатление термокарстовых образований, но большую часть теплого сезона вода в них отсутствует, несмотря на приток вследствие сезонного протаивания мерзлых пород и эпизодической фильтрации из русла ручья. Это свидетельствует о постоянном оттоке воды в глубинные горизонты по трещинам в коренных породах и, следовательно, о тектоническом происхождении рва. Все провалы заполнились водой лишь после обильных дождей, выпавших в период с 10 по 22 августа 2013 г., но во время весеннего половодья того же года вода имела только в ближай-



ших двух провалах, непосредственно сообщавшихся с руслом Малтана из-за высокого уровня воды в ручье (рис. 3).

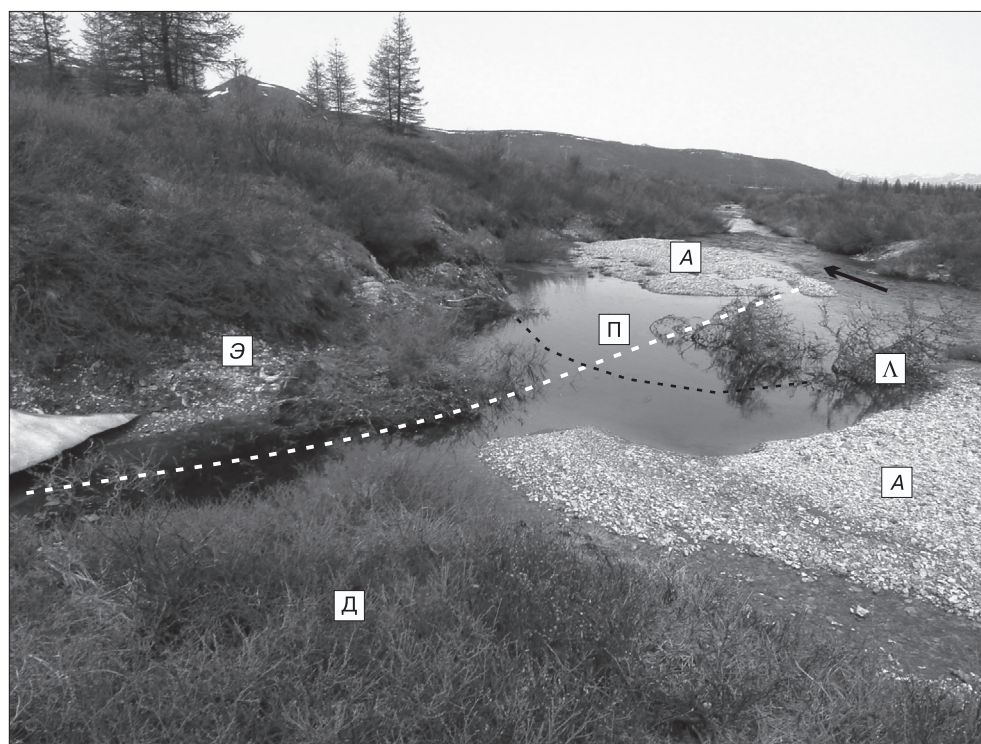


Рис. 3. Ручей Малтан вблизи оконечности депрессии весной 2013 г.

Черным пунктиром показаны очертания подводной части ствола погибшего дерева. Остальные усл. обозн. см. на рис. 2.

В руч. Малтан, ниже слияния его составляющих и до второго пересечения с автотрассой (точка Б), большую часть теплого сезона сток полностью отсутствует, хотя в обеих составляющих он продолжается вплоть до начала осеннего перемерзания. Поглощение стока прекращается ниже депрессии, по восточной – северо-восточной окраине которой проходит современное русло ручья. Далее вниз по долине при средних погодных условиях в углублениях русла все в больших количествах появляется вода, но лишь вблизи пересечения с автотрассой (или еще ниже) в них прослеживается слабое течение. Из сказанного следует, что русло на участке АДБ сформировано исключительно паводками и половодьями, а в межень на отрезке АД вся поступающая к тальвегу вода переходит в подземный сток.

Для того чтобы уточнить распределение талых и мерзлых пород, определяющих характер движения подземных вод, на участке АДБ были проведены вертикальные электроразведки при помощи автокомпенсатора АЭ-72. Их основной целью было удостовериться в преобладании здесь ММП. Методика измерений описана в многочисленных учебных пособиях (см., например, [Электроразведка, 2005]). Согласно результатам, полученным в двух пунктах ВЭЗ на удалении от русла ручья (т. е. заведомо вне зоны влияния предполагаемых щелеобразных таликов), здесь действительно распространены многолетнемерзлые грунты: полученные кривые принадлежат к типу А с монотонным возрастанием кажущегося удельного электрического сопротивления (ρ_k) по мере увеличения разностей питающих электродов. При зондировании в депрессии кривые ВЭЗ в верхней части геоэлектрического разреза соответствуют типу К: рост ρ_k с глубиной на малых разностях сменяется далее обратной тенденцией. Согласно результатам, полученным ранее [Михайлов, Банцеева, 2001], при близких гранулометрических и влажностных характеристиках грунтов это является признаком талого состояния. На предельном разном питающих электродов, близком к поперечнику депрессии, нижняя ветвь кривой меняет направление, придавая ей сходство с типом КН. В данном случае это, по-видимому, связано с боковым влиянием окружающих мерзлых пород, что характерно для зондирований на сквозных таликах [Методические рекомендации..., 1978].

Результаты электроразведочных работ свидетельствуют о том, что выше депрессии значительные объемы поступающей к тальвегу воды просачиваются вниз по трещинам, которые пронизывают всю толщу мерзлых коренных пород, формируя таким образом инфильтрационные талики, связанные с разломами юго-восточного и северо-восточного простирания (первый из них субпараллелен водоразделу). Возможно, эти щелеобразные

талики соединяются в месте пересечения разломов. На нижележащем участке инфильтрация поверхностных вод при тех же погодных условиях, которые обуславливают их полное поглощение этими таликами, по-видимому, не столь интенсивна либо вообще отсутствует.

Сравнение дистанционных снимков (см. рис. 1, б, в) позволяет восстановить в общих чертах динамику гидрологических и мерзлотно-гидрогеологических процессов за несколько истекших десятилетий.

На аэрофотоснимке 1965 г. (см. рис. 1, б) отчетливо видна основная особенность гидрографической обстановки на нижнем участке на момент съемки и за ряд предшествующих лет: полное отсутствие стока воды и наносов ниже депрессии. Очевидно, что даже в самые высокие паводки практически весь русловый расход поглощался выше по течению. При этом доля инфильтрации по щелевидным таликам была невелика (что следует из описанных ниже результатов гидрометрических работ), и значит, поглощение поверхностных вод происходило главным образом в депрессии.

Еще более важно то, что здесь же откладывался весь аллювий, принесенный с расположенных выше участков ручья, распределяясь приблизительно равномерно по всей ее площади. Этот процесс заслуживает подробного анализа. Если для интенсивной инфильтрации воды достаточно (помимо наличия сквозного талика) повышенная трещиноватость коренных пород с широким раскрытием трещин, то для долговременного “раз за разом” послойного накопления аллювия необходимо дополнительно, чтобы этот процесс компенсировался столь же непрерывным опусканием дна депрессии – так, чтобы его положение оставалось более низким по сравнению с тальвегом. При этом практически равномерное распределение наносов по всему небольшому по площади участку указывает на то, что днище погружалось не как единое целое, а путем чередования попеременных опусканий много меньших отдельных блоков, что обуславливало миграцию потока по всей площади впадины.

В последующий промежуток времени на исследуемом участке произошли кардинальные изменения, в результате которых на отрезке ДБ руч. Малтан сформировал хорошо разработанное русло. На исторических снимках сервиса *Google Earth*, несмотря на их низкое разрешение, можно видеть, что это событие произошло не позднее 1985 г. (за более ранний период снимки отсутствуют). В настоящее время ручей здесь протекает в широкой полосе галечно-гравийного аллювия, слагающего как откосы высотой до 1 м, так и отлогие прирусловые отмели. Здесь ручей имеет наиболее отчетливо выраженное русло вплоть до

слияния с руч. Хивегчан. Обилие на этом участке руслоформирующего аллювия позволяет предполагать, что ранее, до периода, характеризующегося снимком 1965 г., здесь также существовало русло.

Очевидно, что интенсивное руслоформирование развилось здесь из-за того, что прекратились взаимосвязанные процессы поглощения в депрессии поверхностного стока и отложения в ней поступающих в паводки наносов. В свою очередь, это было возможно только при условии как минимум прекращения погружения ее днища; на самом деле, как видно на рис. 2, произошла смена знака движения, так что тальвег ручья ныне расположен на ~1 м ниже днища депрессии. Изменившееся соотношение высотных отметок этих элементов рельефа исчерпывающе объясняет прекращение поступления в депрессию наносов, но не воды. Промерзание талика исключено ввиду малого промежутка истекшего времени. Ручей здесь на расстоянии почти 100 м протекает вплотную к восточному краю депрессии (см. рис. 1, в), что вполне благоприятно для поступления воды в талик по ранее отложенному аллювию и последующей фильтрации по трещинам в коренных породах. Но этого не происходит – во всяком случае, в сколько-нибудь значительных объемах. Единственным объяснением представляется резкое снижение водопроницаемости коренных пород в днище депрессии путем сильного сжатия составляющих его микроблоков. Альтернативное предположение, что поглощение стока прекратилось из-за кольматации трещин в коренных породах, выглядит менее правдоподобным. Во-первых, не видно связи между реально наблюдаемым явлением (изменением относительного высотного положения днища депрессии) и этим гипотетическим процессом. Во-вторых, очевидно, что произошедшее некогда погружение участка коренных пород сопровождалось резким увеличением степени их трещиноватости (что и обусловило полное поглощение поверхностного стока). Логично считать, что обратный тектонический процесс вызвал противоположный эффект.

Оценить количественно масштаб изменений, происшедших в долине руч. Малтан, можно, сравнивая справочные данные, относящиеся к периоду полного поглощения твердого и жидкого стоков ниже точки Д, и результаты инструментальных измерений в современных условиях.

По эмпирической зависимости среднего максимального расхода воды ($\bar{Q}_{\max}$) от водосборной площади [Михайлов, 2014], эта характеристика в точке Д при отсутствии инфильтрации должна быть близка к $2.2 \text{ м}^3/\text{с}$. В данном случае она в действительности служит оценкой среднего наибольшего притока воды в русловую сеть с территории водосбора, замыкающегося на точку Д. Но и этот полученный результат существенно меньше мак-

симальной интенсивности поглощения поверхностного стока за длительный период до 1965 г. Дело в том, что величина $\bar{Q}_{\max}$ рассчитывается по среднесуточным значениям расходов за многолетний период. С учетом межгодовых вариаций максимального расхода талики в долине Малтана переводили в подземный сток весь максимально возможный суточный приток воды с площади 7.76 км^2 . По данным справочника [Многолетние данные..., 1985], у водотоков близких размеров эта величина превышает $\bar{Q}_{\max}$ более чем вдвое. Мало того, для интенсивного размыва речного русла, последствия которого сохраняются на многие годы, достаточно кратковременного (часы) экстремального паводка. Такие события вполне обычны на малых водотоках при выпадении ливневых осадков. Не исключено, что ниже по течению депрессии при этом происходил слабый сток воды, но он не сопровождался ни размывом грунта, ни отложением наносов. Во всяком случае, максимальная интенсивность инфильтрации выше точки Д в период, включающий 1965 г., измерялась более чем первыми кубометрами в секунду.

Согласно сведениям, приведенным для ближайших гидрометрических постов бассейна Верхней Колымы [Многолетние данные..., 1985], средний за год объем стока с исследуемого водосбора составляет $2 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Максимальные значения за период наблюдений у ручьев с близкими водосборными площадями больше в среднем в 1.5 раза, т. е. величина наибольшего годового объема инфильтрации из русла Малтана за предшествующий период составляла около $3 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

Современные характеристики инфильтрации дают измерения расходов воды в ручьях Малтан и Хивегчан. Поскольку при одних и тех же погодных условиях влагообеспеченность обоих бассейнов (осадки минус испарение) практически одинакова, произведение модуля стока в Хивегчане (в точке В на рис. 1) на площадь водосбора в точке Б дает реалистичную оценку суммарного поступления воды в русловую сеть долины Малтана. Очевидно, что оно превышает расход, измеренный в этой точке, на величину инфильтрации. Результаты представлены в таблице.

В маловодный период, когда на всем исследуемом отрезке руч. Малтан сток отсутствовал (17 июля), результаты измерений дают величину инфильтрации, равную 124 л/с . После выпадения небольших, хотя и частых дождей (10 августа), в створе Б впервые с середины лета появился слабый сток (первые литры в секунду). Искомая характеристика при этом увеличилась до 273 л/с . В многоводный период, наступивший в результате продолжительных осадков (22 августа), она осталась практически неизменной (267 л/с). Небольшое уменьшение инфильтрации (близкое к погрешности измерений) при увеличении притока

Характеристики стока в 2013 г. в ручьях Хивегчан и Малтан и инфильтрация из долины Малтана

Дата	Погодные условия предшествующего периода	Хивегчан		Малтан		
		Расход воды, л/с	Модуль стока, л/(с·км ²)	Расход воды, л/с	Приток воды, л/с	Инфильтрация, л/с
17.07	Средние	326	15.5	0	124	124
10.08	Умеренные осадки	728	34.5	3.2	276	273
22.08	Продолжительные дожди	1400	66.4	264	531	267

воды может быть связано с тем, что ранее водопродводящие пути еще не были заполнены. По результатам измерений можно заключить, что предельная пропускная способность водопродводящих путей под руслом Малтана (т. е. в щелевидных таликах) составляет (265 ± 10) л/с. Судя по опросным сведениям, существенных изменений по сравнению с периодом до 1965 г. не произошло: как и в настоящее время, на пересечении с автотрассой (точка А) сток большую часть времени отсутствовал. Тем не менее вероятны небольшие подвижки по щелевидным разломам, не приводящие к заметным вариациям инфильтрации.

Следует отметить, что численные значения, приведенные в таблице, по существу являются оценками “снизу”, поскольку в долине руч. Хивегчан также не исключены потери руслового стока по щелевидным таликам.

Для оценки годовых объемов инфильтрации данные отсутствуют, но описанные результаты

позволяют утверждать, что эти величины также уменьшились многократно. Таким образом, в предшествующий период поглощение стока из долины Малтана обеспечивалось преимущественно не двумя взаимно перпендикулярными линейными разломами, а расположенным ниже по долине изометричным тектоническим нарушением.

Изложенные сведения в сумме свидетельствуют о том, что мелкоблоковая тектоническая активность в долине Малтана, достигавшая пика в некоторый промежуток времени, включавший 1965 г., впоследствии существенно ослабла. Вместе с тем она, во-первых, не прекратилась, во-вторых, может проявляться весьма своеобразно. Тектонический ров (см. рис. 2, 3) явно образовался незадолго до 2013 г., когда были сделаны соответствующие снимки. По визуальным наблюдениям, впоследствии он одновременно и углублялся, и заполнялся обломочным материалом. Погибшая лиственница (см. рис. 1, 2 и 4) служит своего рода

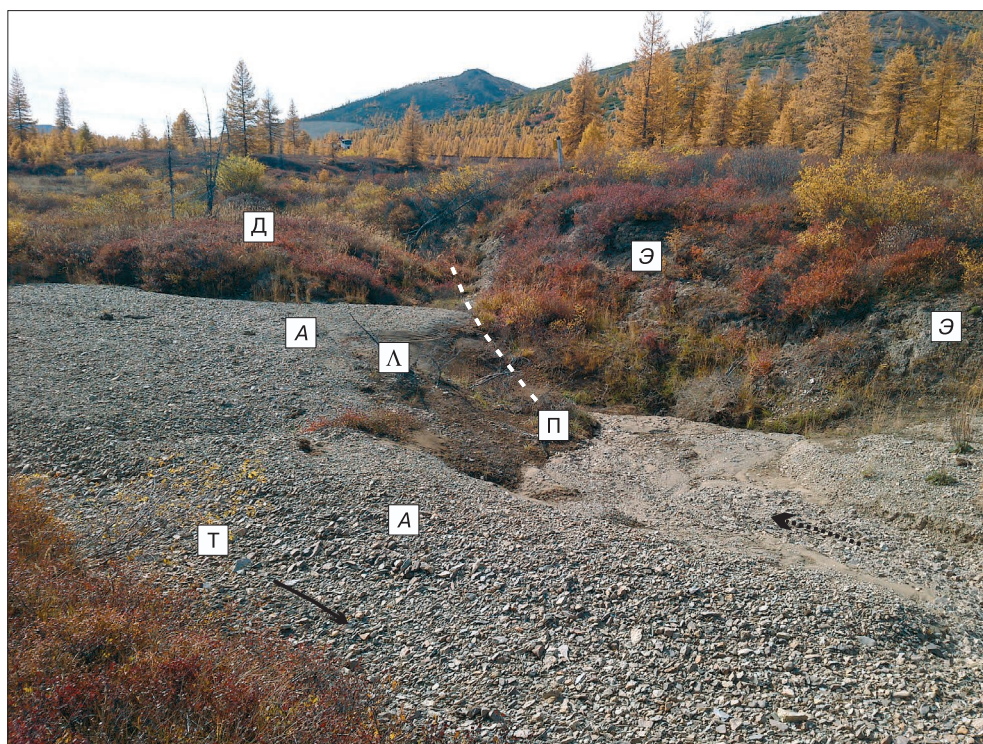


Рис. 4. Следы спонтанного поглощения воды тектоническим рвом (осень 2015 г.).

Пунктирная стрелка показывает направление сосредоточенного потока. Остальные усл. обозн. см. на рис. 2.

репером, приводящим к такому выводу. Весной 2013 г. (см. рис. 3) дугообразная форма ее ствола близко соответствовала профилю днища самого крупного провала. Далее подводная часть дерева погружалась, следуя за постепенно продолжавшимся тектоническим опусканием днища, и перекрывалась пригружавшими ствол наносами (см. рис. 2); в результате в 2015 г. на поверхности оставалась лишь верхушка лиственницы (см. рис. 4).

Данный процесс развивался весьма неравномерно. Одно из предельных проявлений этого – спонтанное усиление поглощения воды ближайшим к ручью провалом, последствия которого демонстрирует снимок (см. рис. 4). Залповое поступление воды в провал сопровождалось размытием аллювия, что привело, в частности, к формированию отчетливо выраженной промоины, концентрировавшей часть сбросового потока. При этом сток в ней явно развивался в обратном направлении по отношению к уклону тальвега. При вхождении в провал водокаменный сбросовой поток распластывался, перекрывая ранее накопленные мелкозернистые отложения и образуя своего рода конус выноса. Остатки этого потока поглощались узкой расщелиной, образовавшейся на примыкании тектонического рва к склону. В течение краткого периода разverzание подземной емкости прекратилось либо, скорее, сменилось сжатием.

Описанный феномен парадоксальным образом перекликается с описанным в статье [Михайлов, 2021] залповым выбросом подземных вод в русло ручья близкого размера¹. Оба явления, при их противоположной направленности, обладают двумя сходными чертами.

1. В обоих случаях непосредственной причиной служит резкое изменение емкости некоего подземного резервуара.

2. Кроме спонтанности, их сближает видимая физическая обособленность.

В обоих случаях в качестве первопричины “направивается” предположение о том, что они являются прямыми отголосками намного более масштабных тектонических событий. Но ответ на соответствующий запрос в геофизическую службу Магаданской области заставляет отвергнуть эту гипотезу. По образному выражению директора сейсмостанции С.В. Курткина, в указанных пунктах и в обозначенные периоды времени отклик на зарегистрированные тектонические события не мог превышать вибрации от проезжающего мимо автомобиля. Причинная обусловленность подобных явлений остается неясной.

Последнее маршрутное обследование депрессии в 2022 г. показало, что в ней продолжались слабые тектонические подвижки. Они были выражены в появлении двух вытянутых углублений, тогда как ранее подобные контрасты рельефа практически отсутствовали. Не исключено, что за промежуток времени после 2015 г. здесь могли развиваться процессы, сходные с описанными выше, но их следы не сохранились.

Остальная часть исследованного участка долины производит впечатление полного тектонического покоя в течение истекшего полувеккового периода. Но так было не всегда, о чем свидетельствует существование водоема размером 35×100 м и глубиной более 4 м (см. рис. 1, б, в; на дистанционных снимках он расположен в левой нижней части). Его термокарстовое происхождение исключено из-за значительной глубины. По результатам специальных исследований [Нестерева, 2012], глубины термокарстовых озер, даже при площади водного зеркала большей на два порядка, и даже в местностях с мощным слоем тонкодисперсных отложений, лежат в основном в пределах 1.1–1.3 м. Образование водоема вследствие вытаивания ледяной жилы также исключено ввиду малой мощности рыхлых отложений. Следовательно, эта крупная (в масштабах долины) впадина имеет тектоническое происхождение. Своей обособленностью она схожа с подробно описанной выше депрессией, но при сравнимом размере признаков существования под ней сквозного талика не наблюдается. Нет также следов современных либо недавних подвижек: конфигурация береговой линии на обоих снимках и по результатам обследований на местности остается практически неизменной. Вероятно, впадина водоема является реликтом периода локального усиления тектонической активности, намного опередившего рассмотренные выше процессы. Данные для обоснованных предположений о ее происхождении отсутствуют. Она служит свидетельством значительной площадной и временной дифференциации тектонической деятельности в пределах низкопорядковой долины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные явления и процессы при всей своей эффектности (учитывая скромный размер территории, на которой они развиты) вряд ли могут оказывать сколько-нибудь заметное влияние на эволюцию таликов ввиду своей высокой динамичности. Скоротечность и малые масштабы наблюдаемых гидрогеологических феноменов практи-

¹ В статье описаны последствия события, дату которого установить затруднительно. Но в июне 2021 г. сотрудниками Института биологических проблем Севера ДВО РАН на этом объекте были зафиксированы следы аналогичного катастрофического паводка, подмывшего и нагромодившего в русле свежераспустившиеся лиственницы; это позволило сузить временные рамки происшествия.

чески исключают их переход в долговременные тенденции. В долинах крупных водотоков аналогичные процессы и явления не могут обусловить столь же зримые проявления, хотя причины для их развития несомненно присутствуют.

Участок исследований расположен в районе с мало контрастным среднегорным рельефом и отсутствием признаков современной крупноблоковой тектонической активности. Несомненно, что их наличие отнюдь не исключает развитие процессов, аналогичных описанным – скорее наоборот, хотя в районах с интенсивными и высокоамплитудными тектоническими подвижками эффекты малых масштабов оказываются завуалированными. Вероятно, в гористых местностях и предгорьях они распространены практически повсеместно.

Итак, участок исследований не является уникальным с точки зрения развития описанных процессов, но он представляет собой как бы идеальный фон для максимально отчетливого проявления эффектов мелкоблоковой тектоники благодаря отсутствию маскирующих факторов.

Рассмотренные явления, наряду с описанными в работе [Михайлов, 2021], не находят исчерпывающих объяснений в рамках существующих представлений о минимальных размерах подвижных относительно друг друга тектонических блоков, что свидетельствует о необходимости модификации этих представлений.

Литература

- Баранова Ю.П., Бискэ С.Ф.** Позднеплиоценовый – четвертичный этап рельефообразования на Северо-Востоке СССР // Геология и геофизика, 1967, № 3, с. 3–11.
- Баранская А.В.** Роль новейших вертикальных тектонических движений в формировании рельефа побережий российской Арктики: Дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2015, 236 с.
- Калабин А.И.** Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР // Тр. ВНИИ–1. Магадан, 1960, т. XVIII, 470 с.
- Калинина Л.Ю., Смирнов В.Н.** Количественный анализ связи землетрясений с относительной амплитудой активных разломов на юго-восточном фланге сейсмического пояса Черского // Вестн. СВНЦ ДВО РАН, 2017, № 2, с. 24–29.
- Карта активных разломов.** Лист Р-55-56 – Сусуман. Источник: База данных активных разломов Евразии (AFEAD). Масштаб 1:1 000 000. 2020. – <http://neotec.ginras.ru/database.html>
- Лилиенберг Д.А.** Пространственно-временные проявления современной эндодинамики рельефа и их взаимосвязь с экзодинамикой (на примере горных стран) // Развитие рельефа и его устойчивость. М., Наука, 1993, с. 87–97.
- Методические рекомендации по интерпретации кривых вертикального электрического зондирования при поисках подземных вод на трассе БАМ.** М., ВНИИТС, 1978, 50 с.
- Михайлов В.М.** Вариации и оценки средних максимальных расходов воды в реках Северо-Востока России // Вестн. СВНЦ ДВО РАН, 2014, № 2, с. 21–26.
- Михайлов В.М.** Реки горных территорий Северо-Востока России: однородность и разнообразие морфологических

характеристик их русел // Геоморфология, 2015, № 1, с. 3–13.

Михайлов В.М. К вопросу о режиме водных объектов Охотско-Колымского водораздела // Вестн. СВНЦ ДВО РАН, 2021, № 2, с. 68–76.

Михайлов В.М., Банцкекина Т.В. Грунтово-фильтрационный талик в континентальной дельте р. Буянда (Сеймчано-Буяндинская впадина) // Криосфера Земли, 2001, т. V, № 2, с. 20–28.

Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши // Государственный водный кадастр. Т. 1, вып. 17. Л., Гидрометеиздат, 1985, 430 с.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. 2. Л., Гидрометеиздат, 1972, 166 с.

Нестерева М.И. Возникновение и распространение термокарстовых озер на территории Якутии // Молодой ученый, 2012, № 9, с. 79–82.

Уфимцев Г.Ф. Морфотектоника Евразии. Иркутск, Изд-во Иркут. ун-та, 2002, 493 с.

Шведов С.Д. Неотектонические разломы Килганских гор и новейшая геодинамика (Северо-Восточное Приохотье) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН, 2010, № 4, с. 12–19.

Шпикерман В.И., Полуботко И.В., Васькин А.Ф. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Верхояно-Колымская. Лист Р-55 – Сусуман. Объяснит. зап. СПб., Картогр. фабрика ВСЕГЕИ, 2016, 522 с. + вкл.

Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей / Под ред. В.К. Хмелевского, И.Н. Модина, А.Г. Яковлева. М., Изд-во Моск. ун-та, 2005, 311 с.

References

- Baranova Yu.P., Biske S.F. Late Pliocene–Quaternary stage of relief formation in the North-East of the USSR. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 1967, No. 3, p. 3–11 (in Russian).
- Baranskaya A.V. Role of the newest vertical tectonic movements in the formation of the relief of the Russian Arctic coasts: Dissertation ... candidate of geogr. sciences. St. Petersburg, 2015, 236 p. (in Russian).
- Kalabin A.I. Vechnaya merzloti i gidrogeologiya Severo-Vostoka SSSR [Permafrost and hydrogeology of the North-East of the USSR]. In: Transactions of VNI–1. Magadan, 1960, vol. XVIII, 470 p. (in Russian).
- Kalinina L.Yu., Smirnov V.N. Quantitative analysis of the relationship between earthquakes and the relative amplitude of active faults on the southeastern flank of the Chersky seismic belt. *Vestnik SVNTs DVO RAN* [Bulletin of the NESCFEB RAS], 2017, No. 2, p. 24–29 (in Russian).
- Karta aktivnykh razlomov [Map of active faults], 2020. Sheet P-55-56 Susuman. Source: Database of Active Faults of Eurasia and adjacent Aquatories (AFEAD). Scale: 1:1 000 000. 2020. – <http://neotec.ginras.ru/database.html>
- Lilienberg D.A. Spatial and temporal manifestations of modern endodynamics of relief and their interrelation with exodynamics (on the example of mountainous countries). In: *Razvitie rel'efa i ego ustoichivost'* [Relief development and its stability]. Moscow, Nauka, 1993, p. 87–97 (in Russian).
- Metodicheskie rekomendacii po interpretacii krivyykh vertikal'nogo elektricheskogo zondirovaniya pri poiskakh podzemnykh vod na trasse BAM [Methodological recommendations for the interpretation of vertical electrical sounding curves when

- searching for groundwater along the BAM route]. Moscow, VNIITS, 1978, 50 p. (in Russian).
- Mikhailov V.M. Variations and evaluations of yearly maximum water discharges in rivers of the North-Eastern Russia. Vestnik SVNTs DVO RAN [Bulletin of the NESC FEB RAS], 2014, No. 2, p. 21–26 (in Russian).
- Mikhailov V.M. Rivers of the mountainous territories of the North-Eastern Russia: uniformity and diversity of morphological characteristics of their channels. Geomorphologiya [Geomorphology], 2015, No. 1, p. 3–13 (in Russian).
- Mikhailov V.M. On the issue of the regime of water bodies in the Okhotsk-Kolyma watershed. Vestnik SVNTs DVO RAN [Bulletin of the NESC FEB RAS], 2021, No. 2, p. 68–76 (in Russian).
- Mikhailov V.M., Bantsekina T.V. Ground-filtration talik in the continental delta of the Buyunda River (Seymchan-Buyunda Depression). Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2001, vol. V, No. 2, p. 20–28 (in Russian).
- Mnogoletnie dannyye o rezhime i resursax poverkhnostny'x vod sushi (Gosudarstvenny'y vodny'y kadastr) [Long-term data on the regime and resources of land surface waters (State Water Cadastre)]. Vol. 1, iss. 17. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, 430 p. (in Russian).
- Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam [Instruction to hydrometeorological stations and posts]. Issue 6, part 2. Leningrad, Gidrometeoizdat, 166 p. (in Russian).
- Nestereva M.I. Origin and distribution of thermokarst lakes in the Yakutia territory. Molodoi uchenyi [Young Scientist magazine], 2012, No. 9, p. 79–82 (in Russian).
- Ufimtsev G.F. Morfotektonika Yevrazii [Morphotectonics of Eurasia]. Irkutsk, Izd-vo IGU, 2002, 493 p. (in Russian).
- Shvedov S.D. Neotectonic faults of the Kilgan Mountains and the latest geodynamics (North-Eastern Priokhotee). Vestnik SVNTs DVO RAN [Bulletin of the NESC FEB RAS], 2010, No. 4, p. 12–19.
- Shpikerman V.I., Polubotko I.V., Vaskin A.F. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii [State geological map of Russian Federation]. Scale 1:1 000 000 (the third generation) Verkhoyansk-Kolyma Series Sheet 55 Susuman. Explanatory memorandum. St. Petersburg, VSEGEI, 2016, 522 p. (in Russian).
- Electrical prospecting: manual on electrical prospecting practice for students of geophysical specialties. V.K. Khmelevsky, I.N. Modin, A.G. Yakovlev (eds.). Moscow, Moscow University Press, 2005, 311 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 26 сентября 2024 г.,
после доработки – 11 мая 2025 г.,
принята к публикации 3 августа 2025 г.*