

НЕКОТОРЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗУЧЕНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ МЕТОДОМ КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ

Иванов В.В., Ахметшин А.А., Саввинов Г.Н.

НИИ прикладной экологии Севера СВФУ им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия (677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43), sahati@mail.ru

Метод ключевых участков состоит в изучении некоторых частей территории одного ландшафта и затем распространении полученных данных для всей площади. Но появляются некоторые вопросы: насколько велики должны быть эти ключевые участки, их количество, достаточность степени их исследования и так далее. В общем случае вечная мерзлота включает в себя слои замороженных пород, рыхлых отложений и активного слоя. Очевидно, что границы слоев замороженных пород, рыхлых отложений и активного слоя, как правило, не совпадают. Поэтому ключевые участки должны отличаться по их количеству, размерам, дислокации, минерализации возможных межмерзлотных и подмерзлотных вод, временной стабильности и необходимой глубины исследования вариаций таких параметров. Главным образом это касается активного слоя, потому что его глубина зависит от многих факторов. Далее следуют рыхлые отложения и затем скальные породы по их мощности и другим свойствам.

Ключевые слова: ключевой участок, функция распределения, регрессионная зависимость.

SOME QUANTITATIVE PARAMETERS TO STUDY THE KRIOLITOZONE BY THE METHOD OF KEY SITES

Ivanov V.V., Akhmetshin A.A., Savvinov V.V.

Research Institute of applied ecology of the North, Yakutsk, Russia (677980, Yakutsk, avenue of Lenin, 43), sahati@mail.ru

The method of key sites consists in studying of some parts of territory of the same landscape and then expanding of received data on all area. But there appear some questions: how big these key sites must be, their number, sufficiency of degree of their study and so on. In general, permafrost includes frozen rock strata, loose deposits and the active layer. Obviously boundaries of frozen rocks strata, loose deposits and active layer as a rule do not coincide. Therefore, key sites must differ by their number, size, disposition, mineralization of possible intrapermafrost and underpermafrost water, stability in time and necessary depth of investigation of variety of such parameters. Mostly, this is true for the active layer because its depth depends on many factors. Further follow loose deposits, then bed rock according to their thickness and other properties.

Key words: key site, distribution function, regression correlation.

Введение. Метод ключевых участков общеизвестен и упоминается в ряде источников [6; 7 и др.]. Основная идея метода заключается в изучении части территории, предполагаемой однородной, прежде всего по ландшафту, и, далее, перенесении полученных результатов на всю её площадь. Следуем описанию метода по [7]. Цитируем: «Для получения оптимальной информации по ключевым участкам исследуются:

- 1) строение, свойства и температурный режим деятельного слоя и слоя годовых колебаний температуры;

2) мощность и прерывистость мёрзлой зоны и криолитозоны, их соотношение по площади и в разрезе, тенденции развития во времени (деградация, аградация) как основа возможных изменений, связанных с освоением территории;

3) состав, сложение, криогенное строение и температуры мёрзлых пород;

4) криогенные образования и различные инженерно-геологические явления;

5) распространение и мощность таликовых зон, их природа и динамика развития, взаимодействие таликов с мёрзлыми породами;

б) подземные воды (надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные) и их взаимодействие между собой, мерзлотно-гидрогеологическая зональность. Предполагается, что однородность территории определяется её принадлежностью к одному типу ландшафта. В [7] указывается, что для каждого района наблюдения проводятся на 2–3 ключевых участках, по [6] также не менее чем на двух. Эти требования относятся к ключевым участкам общего назначения. На ключевых участках специального назначения решаются отдельные тематические вопросы, т.е. изучаются отдельные параметры криолитозоны [6]. Там же указывается, что на ключевых участках должны быть изучены как типичные, так и аномальные участки, например талики. Размеры ключевых участков общего назначения должны быть от 1 до 10 км² при мелкомасштабной (1:100 000 и 1:500 000) съёмке, от 0,2 до 1 км² при крупномасштабной (1:5 000 и 1:10 000); размеры ключевых участков специального назначения от 0,2 до 2 км² и от 0,1 до 0,3 км² соответственно [6].

Проблема и цель работы. Возникает ряд вопросов: каковы должны быть размеры ключевых участков, несомненно, разные для разных параметров и свойств мёрзлых толщ, степень достаточности их изучения, критерии возможности перенесения результатов работ на ключевых участках на всю территорию района, в особенности когда речь идёт о строении и морфологии всей толщи мёрзлых горных пород и развитых в ней и под ней подземных водах.

Рассмотрим общий случай, когда мощность стационарной, однородной сплошной толщи мёрзлых горных пород $H = q/\lambda(t_n + t_3) + h_0$, где q – плотность внутриземного теплового потока, λ – теплопроводность горных пород, t_n – их средняя годовая температура, t_3 – температура замерзания поровой воды, h_0 глубина проникновения годовых колебаний температуры. Она и её компоненты, включая покровные отложения, совместно с сезоннотальным слоем (СТС) составляют основные параметры толщи мёрзлых горных пород. В их состав следует включить также электропроводность оттаявшей части СТС и подмерзлотного горизонта,

характеризующую минерализацию подземных вод. Теплопроводность отражает литолого-петрографический состав горных пород, плотность теплового потока – региональное геологическое строение района, включая её локальные аномалии вследствие неоднородности мёрзлых толщ по составу, неровностей рельефа и отчасти нижней границы мёрзлой толщи. Очевидно, что границы однородных горизонтов толщи мёрзлых горных пород, как правило, не совпадают. В наибольшей степени это касается глубины сезонного протаивания в силу большей изменчивости покровных отложений и почв, характеристик радиационно-теплового баланса на дневной поверхности, рельефа и экспозиции склонов по отношению к солнцу, растительности, состава СТС, минерализации надмерзлотных вод, снежного покрова и т.д. [6]. Далее по степени изменчивости, определяемой их гранулометрическим составом, криогенной текстурой и криогенным строением, следуют аллювиальные, склоновые, ледниковые и другие мёрзлые рыхлые отложения разной мощности. Наибольшая однородность среди них присуща элювиально-делювиальным образованиям, свойства которых, главным образом, определяются составом коренных пород и степенью их выветривания. Ещё менее изменчивы коренные породы как по вещественному составу, так и по мощности мёрзлой их части. Отсюда следует, что в указанном порядке увеличиваются и размеры однородных участков перечисленных горизонтов, границы которых чаще всего не совпадают. Поэтому и ключевые участки для них должны отличаться и числом, и размерами.

Оценим параметры ключевых участков для изучения глубины сезонного протаивания. Однородные участки в этом случае описываются нормальным законом, что и является критерием правильности их выделения [8] по принадлежности их к одной генеральной совокупности. Другой способ оценки степени однородности района заключается в выполнении наблюдений по пересекающему его профилю. Отсутствие тренда величины сезонного протаивания по профилю говорит об однородности района. Наличие тренда может быть учтено построением уравнения регрессии глубины сезонного протаивания $h_1 = kx + b$, где x – координата точки наблюдения, h_1 – среднее значение глубины протаивания h_1 . Наблюдения должны быть независимыми, т.е. расстояние между ними должно быть больше радиуса корреляции. Однородные в целом по типу ландшафта районы могут содержать хаотично распределённые на местности неоднородности разного масштаба. Для детального описания таких районов можно ввести понятие «вложенные системы», образованные этими неоднородностями в матрице, образующей однородный по типу

ландшафта район. Например, на аласных равнинах можно отдельно рассматривать межаласные участки, безлесные части аласов и аласные озёра [3]. Тогда модель среды по глубине сезонного протаивания будет представлена набором функций распределения, нередко без картографической их привязки, если эти неоднородности не выражаются в масштабе отчётной карты. Для ряда задач в таких случаях – распространение радиоволн, прокладка дорог, трубопроводов и других линейных коммуникаций – целесообразно построение одной функции распределения для всего района со всеми его неоднородностями. В этом случае глубина сезонного протаивания описывается логнормальным законом [8]. Здесь возможен выбор точек наблюдения случайным образом, с помощью таблицы случайных чисел. В качестве критерия целесообразно выбрать соотношение чисел определения h_1 на отличных друг от друга участках: в совокупности его результаты должны образовывать одномодальную кривую плотности вероятности. Достаточность объёма выборки контролируется стабильностью оценок параметров функции распределения при увеличении числа наблюдений. Для оценки параметров распределения могут быть использованы разновременные наблюдения, если их число достаточно велико [2]. Мощность мёрзлых рыхлых отложений относительно стабильна, прежде всего в случае элювиально-делювиальных образований и в пределах конкретной речной террасы. Она может быть лучше охарактеризована профилями вкост речных долин, совпадающими с планируемыми поисково-разведочными линиями, и функциями распределения в случае элювиально-делювиальных образований. Только по отношению к последним и можно говорить о методе ключевых участков как способе их изучения. Здесь сохраняется некоторая неопределённость относительно достаточности числа ключевых участков в пределах большого района, но вопрос может быть решён сериями нескольких дополнительных наблюдений, даже одиночными, с определением их принадлежности к уже установленным генеральным совокупностям. Достаточно большой ключевой участок, включающий все прочие виды неоднородностей, может быть и единственным, не теряя при этом достаточности для описания всего района [8]. Участки под строительство следует изучать наблюдениями по регулярной сети с шагом менее линейных размеров возводимых сооружений.

Изучение толщи мёрзлых горных пород в целом: стабильности во времени, их прерывистости, мощности и её изменчивости предполагает, прежде всего, большие размеры ключевых участков, которые, видимо, могут быть целесообразны при

изучении значительных по площади территорий, в силу этого не всегда однородных по другим параметрам. Если мощность и другие параметры мёрзлой толщи изменчивы, то и число ключевых участков для однородных по типу ландшафта районов должно быть достаточно велико. Представляется, что нужно отдельно рассматривать возможности изучения стационарных сплошных мёрзлых толщ, деградирующих мёрзлых толщ и изменчивых по мощности мёрзлых толщ, от прерывистых до островных. Существенна и величина объёма мёрзлых толщ, образующих отклик на используемый метод определения её мощности H : от $\sim H^3$ в случае использования метода ВЭЗ, площади первой зоны Френеля $\sim lh$, где l её радиус, а h глубина залегания отражающей границы в случае использования радиолокационного зондирования и практически 0 в случае бурения скважин. Зависимость результатов определения мощности толщ мёрзлых горных пород от базы определения может менять параметры уравнений регрессий и функций распределения, в особенности за счёт неровностей рельефа: на плоской поверхности они должны совпадать. Стационарные (квазистационарные [9]) сплошные мёрзлые толщ с пресными и солёными подмерзлотными водами могут быть разделены по отсутствию или наличию связи между мощностью мёрзлых толщ и нормированной электропроводностью подмерзлотного горизонта [8], что требует производства определённого объёма наблюдений. Изучение мощности стационарных мёрзлых толщ облегчается установленным нами ранее положением [5]: каждой геоморфологической области присуща своя функция распределения мощности мёрзлых толщ и либо её зависимости от высоты местности, либо зависимости от неё положения её нижней границы, выражаемых соответствующим линейным уравнением регрессии. Последние более полно отражают реальную картину и поэтому более предпочтительны. Число определений мощности мёрзлых толщ должно быть достаточно для построения функции распределения или уравнения регрессии по части района. Для проверки возможной пригодности полученных функции распределения или уравнения регрессии для описания всего района представляется достаточным выполнение серии наблюдений в другой, удалённой части района [2; 8; 10]. Расположение точек наблюдений должно охватывать по возможности максимальный интервал по высоте их над уровнем моря и все основные разности пород. Для Анабарского кристаллического массива, например, было установлено, что мощность толщ мёрзлых горных пород описывается 3 уравнениями регрессий на высоту точки наблюдения – для разных типов пород в

силу их различия по теплопроводности [2]. Поскольку в южном направлении мощность мёрзлой толщи при прочих равных условиях должна уменьшаться, то возможно и построение уравнений регрессий мощности мёрзлой толщи на широту местности, в том числе двумерных, учитывающих и высотное положение точек наблюдений [8] или состав горных пород. Надо признать, что геофизических работ по изучению прерывистости и островов мёрзлых горных пород практически нет.

В случае солёных подмерзлотных вод мощность мёрзлых горных пород, следуя изменению минерализации вод, прихотливо меняется на сотни метров через первые десятки километров [4]. Поэтому для таких территорий возможно выполнение наблюдений лишь на отдельных профилях для иллюстрации общей картины. Для Оленёкского артезианского гидрогеологического бассейна удалось установить предельные оценки значения мощности мёрзлых толщ, их средней годовой температуры (ей не соответствует граница раздела по какому-либо параметру (!)), геотермического градиента и минерализации подмерзлотных вод [5]. Минимальное значение мощности мёрзлых горных пород для него равно 100 м, но оно определяется разрешающей способностью метода ВЭЗ и в действительности может быть и меньше. Если мощность мёрзлых горных пород с солёными подмерзлотными водами на исследуемом участке определяется положением нижней границы соле-водонепроницаемых пород, то для неё или нескольких ключевых участков может быть построена функция распределения мощности мёрзлых толщ. Территория такого района определяется геологическим строением района и фациальной изменчивостью слагающих его пород. В деградирующей мёрзлой толще на её нижней границе образуется несколько границ раздела, соответствующих фронтам протаивания: по электропроводности в постоянном и высокочастотном поле, по диэлектрической проницаемости, при благоприятных условиях, по скорости сейсмических волн [8]. Со временем эти границы, после общего старта, расходятся всё больше и больше, располагаясь в указанном порядке. По их расположению возможна оценка времени начала процесса деградации с момента выравнивания её температуры. Горизонты соле-водонепроницаемых пород существенно влияют на характер процесса. Под ними образуется межмерзлотный талик, а с верхней границы каждого из таких горизонтов границы раздела, отвечающие фронтам протаивания по перечисленным параметрам, вновь стартуют одновременно. В этом случае начало процесса деградации оценивается по моменту прохождения соле-водонепроницаемого горизонта.

Выводы. Таким образом, метод ключевых участков благодаря своей предсказательной силе может быть использован для изучения всего однородного по конкретному параметру района в количественном выражении; примерные критерии выбора их числа и размера рекомендованы. Модели изучаемых сред по совокупности параметров являются вероятностными математическими моделями [1; 2]. В случае солёных подмерзлотных вод ключевые участки могут быть использованы для характеристики поведения мощности мёрзлых толщ и оценки предельных значений их параметров: мощности, геотермического градиента, средней годовой температуры, минерализации подмерзлотных вод. Подобным же образом может быть изучена электропроводность СТС и его протаявшей части, мёрзлых рыхлых и скальных пород и подмерзлотного горизонта [8].

Список литературы

1. Ахметшин А.А., Данилов В.С., Калинин В.М. Карта глубины сезонного протаивания на территории Якутии // Тез. докладов Всесоюзн. научно-исслед. конференции. – Магадан, 1989. – С. 5–6.
2. Ахметшин А.А., Якупов В.С., Калинин В.М. Вероятностная модель геоэлектрического строения мерзлых толщ Средней и Восточной Сибири : препринт. / отв. ред. М.Д. Новопашин. – ЯНЦ СО РАН, 1995. – 28 с.
3. Грачёв В.Н., Якупов В.С. Карта районирования Лено-Амгинского междуречья по условиям и способам устройства заземлений электрических систем и линий связи // Надёжность и электробезопасность при эксплуатации электрооборудования в условиях Крайнего Севера. – Норильск, 1979. – С. 65–75.
4. Калинин В.М., Якупов В.С. Мощность мёрзлой толщи по профилю Оленёк – Жиганск (по данным ВЭЗ) // Геофизические методы исследования мёрзлых толщ. – Якутск : Кн. изд-во, 1976. – С. 22–28.
5. Калинин В.М., Якупов В.С. Региональные закономерности поведения мощности мёрзлых толщ. – Якутск, 1989. – 142 с.
6. Кудрявцев В.А., Полтев Н.Ф., Романовский Р.Р. Мерзлотоведение (краткий курс). – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 240 с.
7. Общее мерзлотоведение / под ред. П.И. Мельникова, Н.И. Толстихина. – Новосибирск : Сибирское отд-е изд-ва «Наука», 1974. – 291 с.
8. Якупов В.С. Исследование мёрзлых толщ методами геофизики. – Якутск : ЯФ Изд-ва СО РАН, 2000 – 336 с.

9. Якупов В.С. Некоторые соображения о классификации мёрзлых толщ и области их развития // Материалы 2-й конф. геокриологов России. – М. : Изд. МГУ, 2001. – Т. 3. – С. 248–255.
10. Akhmetshin A.A., Yakupov V.S., Grigoryev V.A. Method of key sites: some quantitative estimations // Eighth International Symposium on permafrost engineering. Third Circular (Xi'an, China, October 14-21, 2009). – Xi'an, 2009. – P. 454–458.

Рецензенты:

Саввинов Д.Д., д.б.н., профессор, вице-президент Академии наук Республики Саха (Якутия), г. Якутск.

Бурцева Е.И., д.г.н., к.б.н., профессор кафедры менеджмента горно-геологической отрасли ФЭИ СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск.