

3.3. Первичные данные температуры и влажности

Данные о первичных значениях температуры и влажности¹ не столь информативны, как значения периодов телеметрии, но и их наличие представляет значительный прогресс по сравнению с лентами АЦПУ АВК-1, для которого использование «темповой» печати² представляла собой скорее исключение, чем правило.

Просмотр графиков зависимости первичных значений температуры и влажности от времени представляет собой простой и наглядный способ проверки согласованности их последовательных отсчетов и, соответственно, оценки надежности и достоверности результатов обработки.

На рисунке 3.3-1 показаны данные выпуска, в котором наземные значения температуры и влажности (-10.2 °С и 58% соответственно) резко отличаются от данных первого отсчета полетных значений, датированных 7 секундой³ полета, (-6.6 °С и 27% соответственно). В качестве начальных значений температуры и влажности⁴ при радиозондировании должны использоваться результаты измерений стандартными метеорологическими приборами, получаемых непосредственно в момент выпуска /12/. При этом нередко наблюдаются расхождения между наземными и первыми полетными значениями, существенно искажающие вертикальные профили температуры и влажности в приземном слое, приводя к появлению недостоверных инверсий (рисунок 3.3-2) или сверхадиабатических градиентов. Такие расхождения могут быть результатом неправильного измерения⁵ наземных метеовеличин, недостаточной предполетной выдержки радиозонда, а также инструментальных ошибок датчиков радиозонда⁶.

Достаточно часто в первичных отсчетах температуры и влажности присутствуют недостоверные значения: единичные выбросы или разброс данных, а также скачкообразные изменения. При адекватных алгоритмах контроля входных данных они не включаются в обработку и, при небольшом количестве, мало влияют на ее результаты. Однако при больших пропусках, связанных с исключением недостоверных значений, или при включении недостоверных значений в обработку ее результаты неизбежно искажаются. При оперативном зондировании анализ первичных данных позволяет исключить из результатов обработки недостоверные значения, а при использовании результатов

¹ И температура и влажность рассчитываются по средним за канал периодам следования телеметрических импульсов в соответствующих каналах и в опорном канале.

² Специальный режим выдачи данных на ленту АЦПУ АВК-1 первичных координатно-телеметрических данных в зависимости от полетного времени. Применяется в основном только для оценки координат радиозонда в момент прекращения выпуска, для исключения потерь данных при сбоях в обработке и в специальных случаях – при сравнениях систем радиозондирования.

³ Для АП «ЭОЛ» температура есть среднее по обоим каналам температуры за телеметрический цикл.

⁴ Разумеется, это относится и к давлению и направлению и скорости ветра.

⁵ Если отсчеты произведены задолго до выпуска, например за полчаса до выпуска при предполетной выдержке, а затем не обновляются даже при значительном изменении (как это, к сожалению, принято на многих АЭ).

⁶ Для радиозондов типа МРЗ-3А допуски при предполетной проверке составляют 1.8 °С и 15% для температуры и влажности, а поправки по результатам предполетной проверки в показания датчиков в полете не вводятся

радиозондирования – оценить их достоверность. Примеры данных двух таких выпусков приведены на рисунках 3.3-3 – 3.3-6.

Анализ первичных отсчетов температуры и влажности позволяет пролить свет и на проблемы, специфические для той или иной системы радиозондирования. Так, в силу технической реализации корреляционного метода измерения частоты в АП «ЭОЛ» при определенных условиях⁷ для опорного канала регистрируется длительность периода примерно в два раза больше действительной. Соответственно, искажаются расчетные значения температуры и влажности, это могут быть как отдельные выбросы (рисунок 3.3-7), так и брак до конца подъема (рисунок 3.3-8). При наличии калибровочных коэффициентов радиозонда можно проверить, действительно ли брак связан с удвоением длительности периода в опорном канале, и получить статистику появления связанного с этим брака данных.

Расчет температуры и влажности осуществляется по результатам вычисления так называемого y -параметра:

$$y_{t/u} = \frac{\tau_r}{\tau_{t/u}}$$

где τ_r , τ_t , τ_u – период следования импульсов соответственно в опорном канале, канале температуры и влажности. В свою очередь, y -параметр связан со значениями температуры и влажности следующими соотношениями:

$$y_t = \frac{R_{01}}{R_{02} + A \cdot \exp \frac{B}{t + 273.15 + C}}$$

$$y_u = \frac{R_{01}}{R_{02} + \frac{-N - \sqrt{N^2 - 4 \cdot (K - U) \cdot M}}{2 \cdot M}}$$

где

R_{01} , R_{02} – так называемые «характеристические сопротивления», или калибровочные коэффициенты радиоблока;

A , B , C – калибровочные характеристики датчика температуры;

K , N , M – калибровочные характеристики датчика влажности.

⁷ При длительности следования импульсов в опорном канале менее нижнего предела, заданного в ТУ на радиозонды, а также при замираниях и помехах.

Взяв из tu-файла значения температуры и влажности и значения калибровочных коэффициентов из таблицы выпуска⁸

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ ЗОНДИРОВАНИЯ ТАЭ-3	№ 129(1)
НАЧАЛО НАБЛЮДЕНИЙ 21.2.2009 11:31	21.02.2009 14-30
КОНЕЦ НАБЛЮДЕНИЙ 21.2.2009 12:57	1/0 Ci
ВЫСОТА СОЛНЦА: -37 ГРАД.	987.1 0.0=987.1
СИНОПТИЧЕСКИЙ ИНДЕКС СТАНЦИИ: 25913	-18.6+0.2=-18.4
КОД ОБЛАЧНОСТИ: 00901	43+2=45%
ПРИЗЕМНАЯ ОШИБКА ТЕМПЕРАТУРЫ : -0.4 ГРАД.	
ПРИЗЕМНАЯ ОШИБКА ВЛАЖНОСТИ : 3 %	
P/3 МРЗ-3А858814	
R1 28.492 R2 28.542	
A 0.24356 B 3906.5 C 73.86	
K 124.9 N -11.86 M 0.295	

получаем соответствующие значения у-параметра, подтверждающие предположение об удвоении периода в опорном канале:

Время, с	Температура, °С	y_t	Влажность, %	y_t
2931.49	-47.95	0.198888	24.7	0.701468
2952.1	-22.89	0.405148	242.4	1.40235

В данных tu-файлов МАРЛ-А (и в первых версиях ПО «Вектор-М») при замираниях или других сбоях с приемом телеметрического сигнала повторяются последние измеренные значения температуры и относительной влажности. Соответственно в результатах обработки могут наблюдаться недостоверные изотермии, за которыми следуют слои со сверхадиабатическим градиентом, а также слои с постоянной влажностью.

На рисунке 3.3-10 приведен фрагмент первичных данных температуры (полностью первичные данные этого выпуска показаны на рисунке 3.3-9). Опыт сравнительного анализа результатов наблюдений МАРЛ-А и других систем радиозондирования (и, в частности, прямых сравнений) показывает, что регистрируемые в слое 7.7-8 км изотермия

⁸ Приведенная таблица выпуска является исключением, а не правилом – дополнительные метаданные (калибровочные коэффициенты, обозначения облачности, данные наземных измерений, номер радиозонда) добавлены в файл ТАЭЗ вручную.

-58.6 °С и следующий за ней слой со сверхadiaбатическим градиентом являются недостоверными⁹ и вызваны указанными выше недостатками регистрации отсчетов температуры и влажности в tu-файлах МАРЛ-А.

На рисунке 3.3-12 приведены данные двух выпусков, в которых сырые данные температуры оставались неизменными (-81.1 °С и -78.1 °С) в течение длительного времени. В обоих выпусках радиозонд регистрация температуры приостанавливалась, когда радиозонд удалялся на расстояние более 130 км, однако при этом регистрация влажности продолжалась, а регистрация температуры возобновлялась к концу выпуска, когда удаление уже достигало 150-160 км. Как известно, сопротивление чувствительного элемента датчика температуры радиозонда типа МРЗ-3А, термистора ММТ-1, резко возрастает с понижением температуры – соответственно возрастает и период следования метеоимпульсов в канале температуры. Поскольку в обоих выпусках, данные которых показаны на рисунке 3.3-12, регистрация температуры возобновлялась при ее повышении, а регистрация влажности и не прекращалась, возможно, что, скорее всего, по аппаратным¹⁰ или, что менее вероятно, программным причинам имело место ограничение допустимого значения верхнего предела периода следования импульсов в канале температуры. К сожалению, в файловых архивах МАРЛ-А не сохраняются¹¹ калибровочные характеристики радиозондов, которые бы позволили проверить это предположение. В любом случае, анализ только результатов обработки может и не выявить подобные проблемы, в особенности в дневных выпусках, в которых в показания температуры вводится радиационная поправка.

Некоторые особенности регистрации данных влажности могут иметь значение для режимной обработки. Для коррекции показаний влажности на инерционную ошибку /18, 19/ большое значение имеет точность представления регистрируемых значений влажности. При округлении регистрируемых значений до 1% существенно возрастает погрешность вычисления производной по времени и приходится применять очень сложные алгоритмы. В tu-файлах АП «ЭОЛ» влажность представляется с точностью до 0.1%, что еще терпимо, а вот tu-файлах МАРЛ-А влажность представляется с точностью до 1%, что недостаточно. В tu-файлах Вектор-М влажность представляется с точностью до 0.01%.

Очевидно, что с учетом погрешностей измерения диапазон изменения допустимых значений измеренной влажности шире, чем физически допустимый диапазон изменения собственно влажности (от 0 до 100%, в редких случаях может иметь место пересыщение в 1-2%). У радиозонда типа МРЗ-3А нормированный предел допускаемого значения основной погрешности датчика влажности при нормальных условиях составляет 10 %, а в диапазоне от -40

⁹ Предшествующий изотермии слой со сверхadiaбатическим градиентом также является недостоверным, но уже по другой причине – неадекватной обработке недостоверных данных высоты, которая будет рассмотрена ниже.

¹⁰ На одной из АЭ проблема с регистрацией телеметрического сигнала при больших значениях периода (низкой частоте) была устранена с помощью настройки параметров звуковой карты ПЭВМ, с помощью которой производится обработка телеметрического сигнала в МАРЛ-А

¹¹ Это относится и к АП «ЭОЛ»

до +50 °С составляет 15%. При этом по ТУ на радиозонд погрешность составляет¹² 15% лишь при условии введения поправки за температуру согласно формуле

$$U_{cor}=(U_{mes}-U_2)/(U_1-U_2)\cdot 40+20$$

где:

U_{cor} – исправленное значение влажности, %;

U_{mes} – измеренное значение влажности, %;

$$U_1=66-0.25\cdot t-0.0025\cdot t^2;$$

$$U_2=28-0.4\cdot t;$$

t – температура, °С.

С учетом того, что указанная выше поправка при вычислении влажности (как, впрочем, и при обработке) не вводится, измеренные значения влажности при исправной работе датчика влажности могут составлять существенно больше 100 (рисунок 3.3-13) и меньше 0 % (рисунок 3.3-14). Существующая практика передачи результатов радиозондирования /15/ ограничивает диапазон влажности значениями, которые можно передать с использованием кода КН-04, т.е. дефицит точки росы от 0 до 49 °С, что, в свою очередь, искажает климатическую статистику характеристик влажности. Наличие в сырых данных исходных измеренных значений потенциально позволяет исправить ситуацию, а также, при введении соответствующих поправок, осуществлять гомогенизацию климатических рядов.

В *tu*-файлах АП «ЭОЛ», как показывают рисунки 3.3-13 и 3.3-14, на регистрируемые данные влажности не вводится никаких ограничений. В *tu*-файлах МАРЛ-А верхний предел ограничивается 100, а нижний – 3 %, выходящие за эти пределы значения приравниваются предельным значениям. Поскольку коды или признаки отсутствия/брака данных в *tu*-файлах МАРЛ-А не предусмотрены, измеряемая влажность «обрезается» таким образом, что предельные значения могут заменять как реально измеренные значения влажности с учетом допустимой погрешности измерения, так и брак данных, который может попасть и попадает в обработку (см. рисунок 3.3-15). В *tu*-файлах «Вектор-М» верхний предел также ограничивается 100, а нижний предел составляет 0.00 %. Благодаря наличию кодов пропуска можно предполагать, что для Вектор-М предельные значения соответствуют реальным измерениям, однако при каких пороговых значениях 0 и 100% заменяются кодами пропуска, неизвестно.

Влажность – наиболее изменчивый параметр и требуется значительный практический опыт или теоретическая подготовка для выявления недостоверных значений в данных текущего выпуска. Однако практически невозможно, чтобы влажность оставалась постоянной в течение всего выпуска, как это показано на рисунке 3.3-16. Очевидно, что датчик влажности не реагирует на ее изменения, подобные случаи следует рассматривать как отказы радиозонда в

¹² По ТУ справедливость этой формулы должна проверяться на периодических испытаниях в ЦАО, которые не проводятся с конца прошлого века

Анализ координатно-телеметрических данных современных систем радиозондирования

полете. Другой пример характерной неисправности пленочного датчика влажности радиозонда типа МРЗ-3А показан на рисунке 3.3-17 – ступенчатые скачкообразные изменения влажности, вызванные ненадежным прилеганием пера, передающего натяжение животной пленки, к реостату.

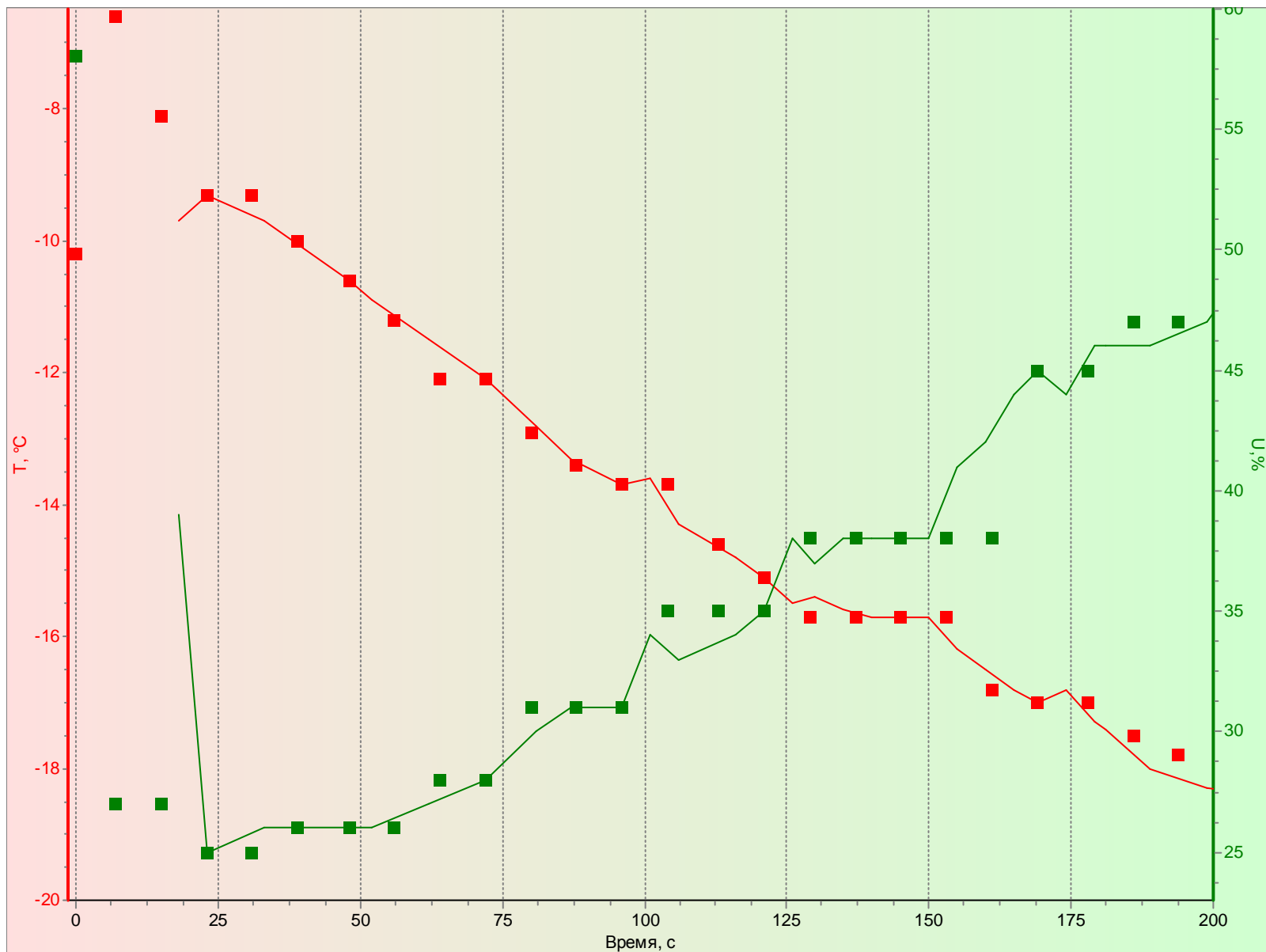


Рисунок 3.3-1. Расхождение между наземными данными и радиозондом. АВК-АП «ЭОЛ».

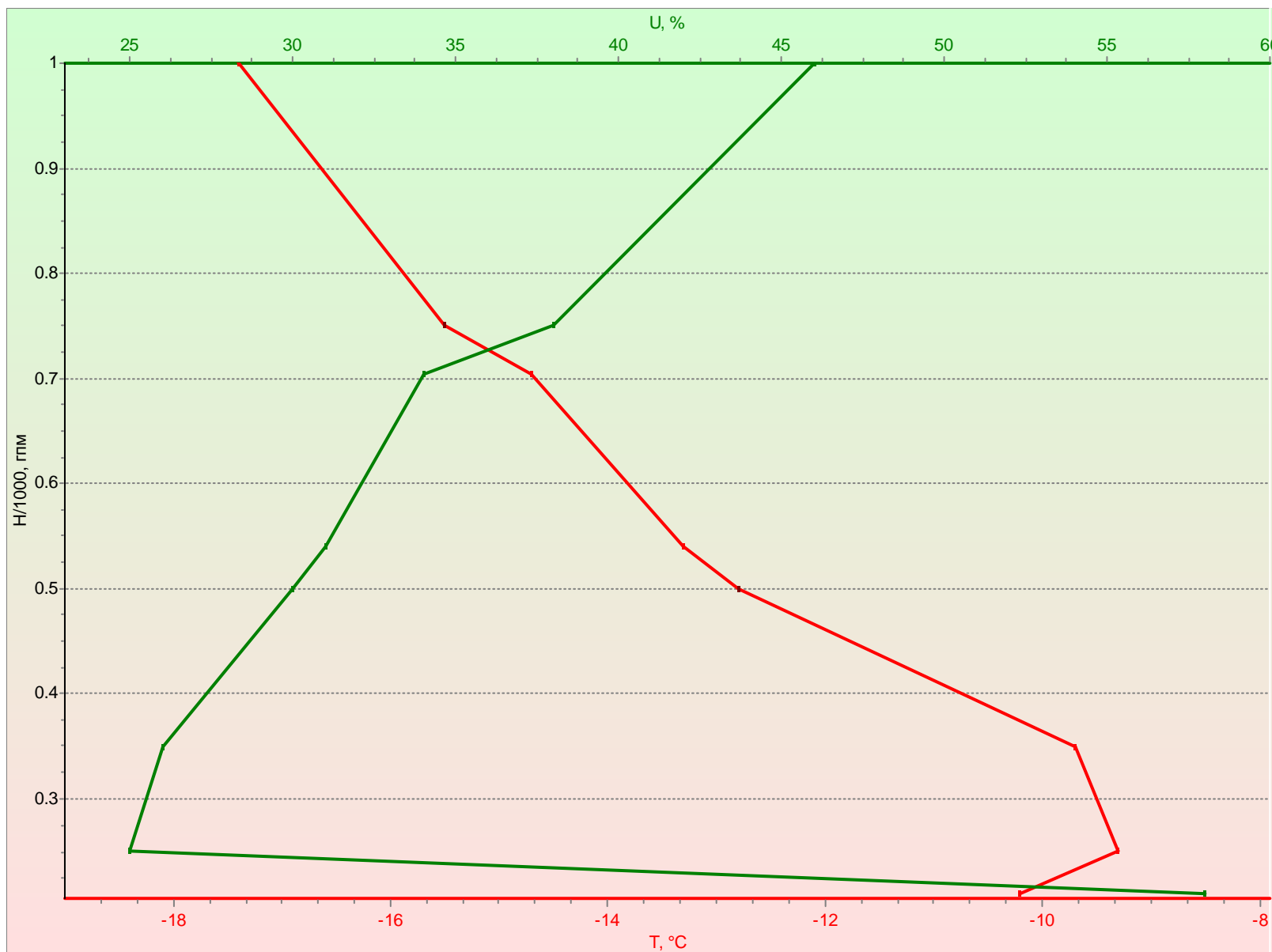


Рисунок 3.3-2. Расхождение между наземными данными и радиозондом – результаты обработки. Данные того же выпуска, что и на рисунке выше.

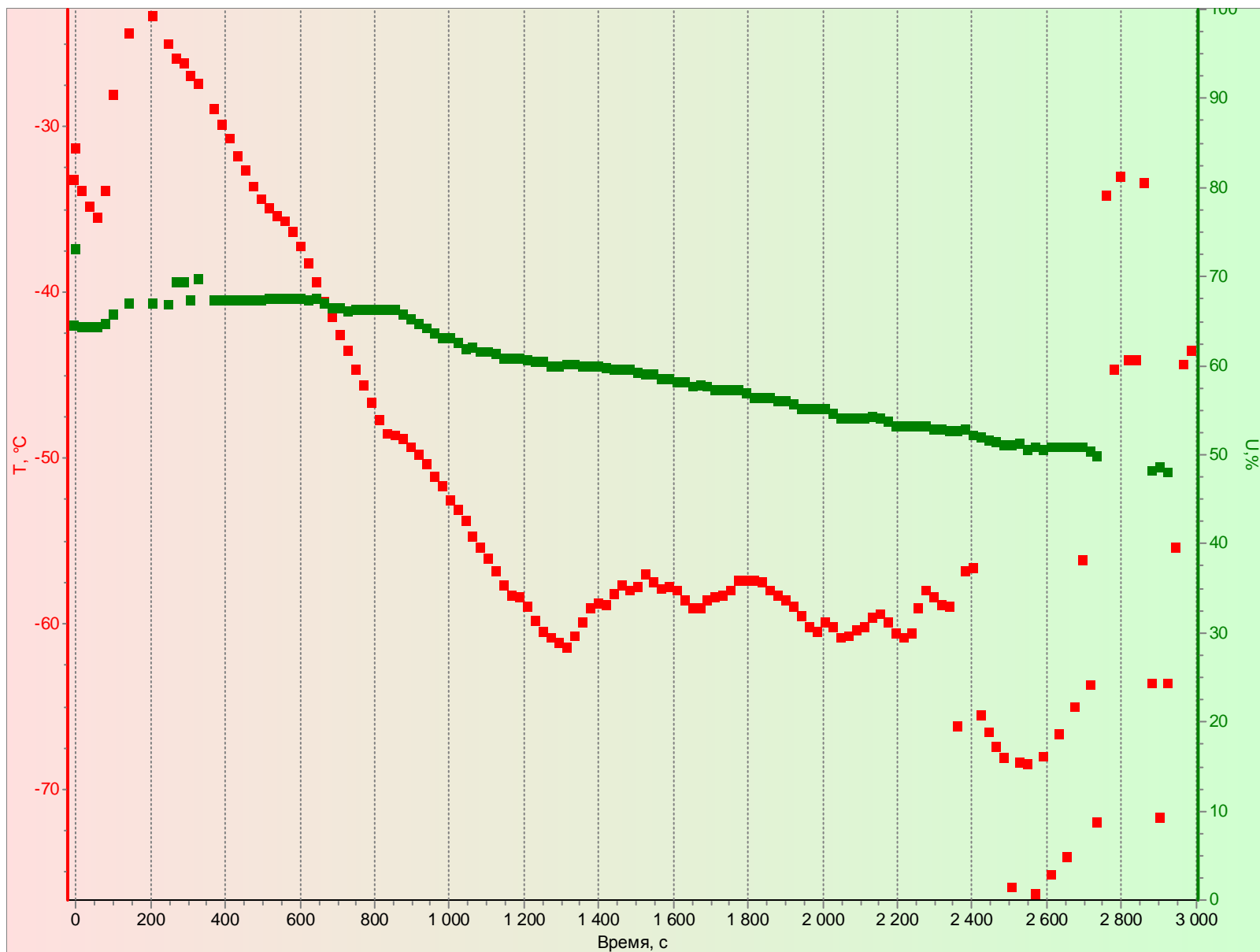


Рисунок 3.3-3. Недостоверные первичные данные температуры. АВК-АП «ЭОЛ».

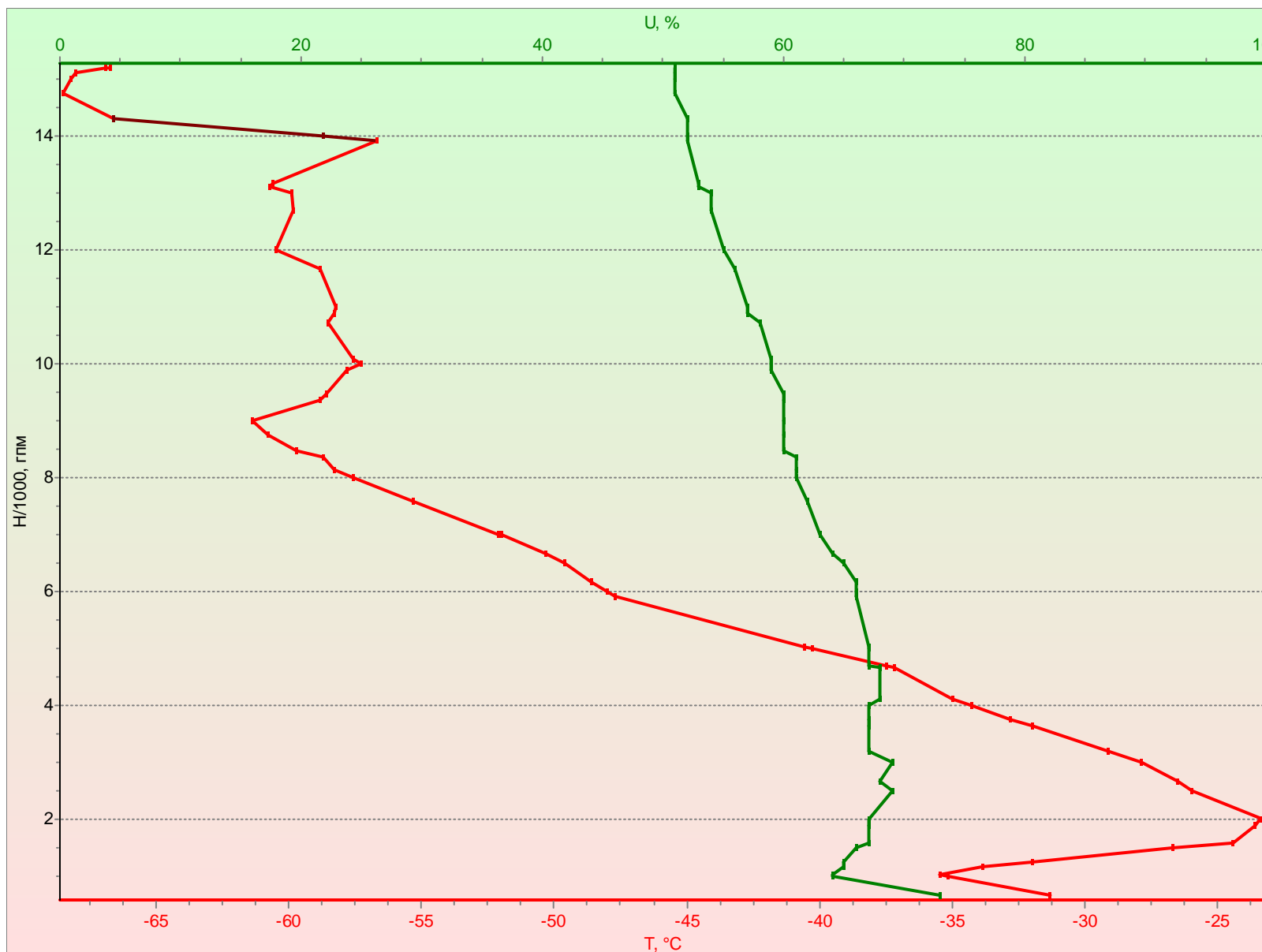


Рисунок 3.3-4. Результаты обработки при недостоверных первичных данных температуры. АВК-АП «ЭОЛ».

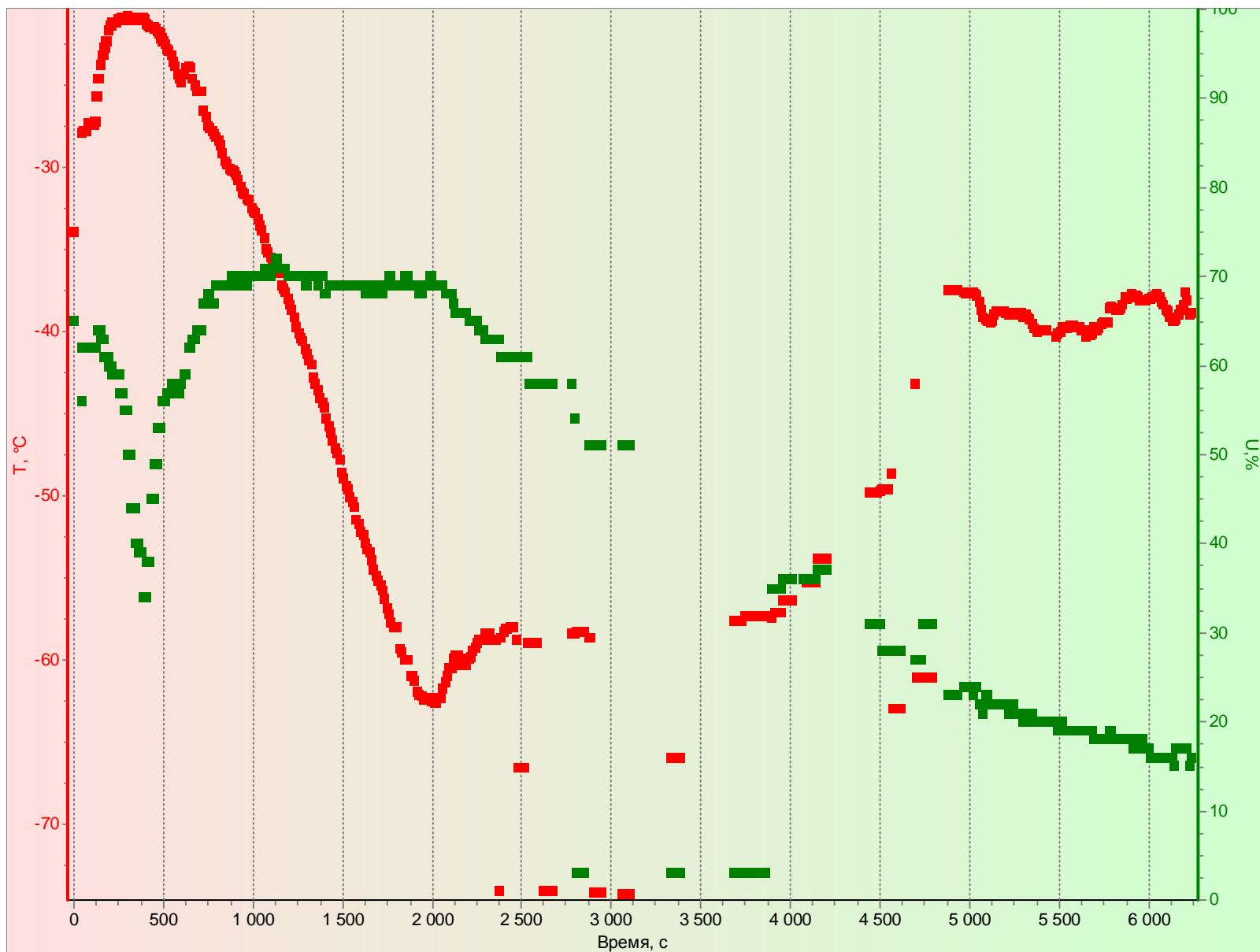


Рисунок 3.3-5. Недостоверные первичные данные температуры. МАРЛ-А

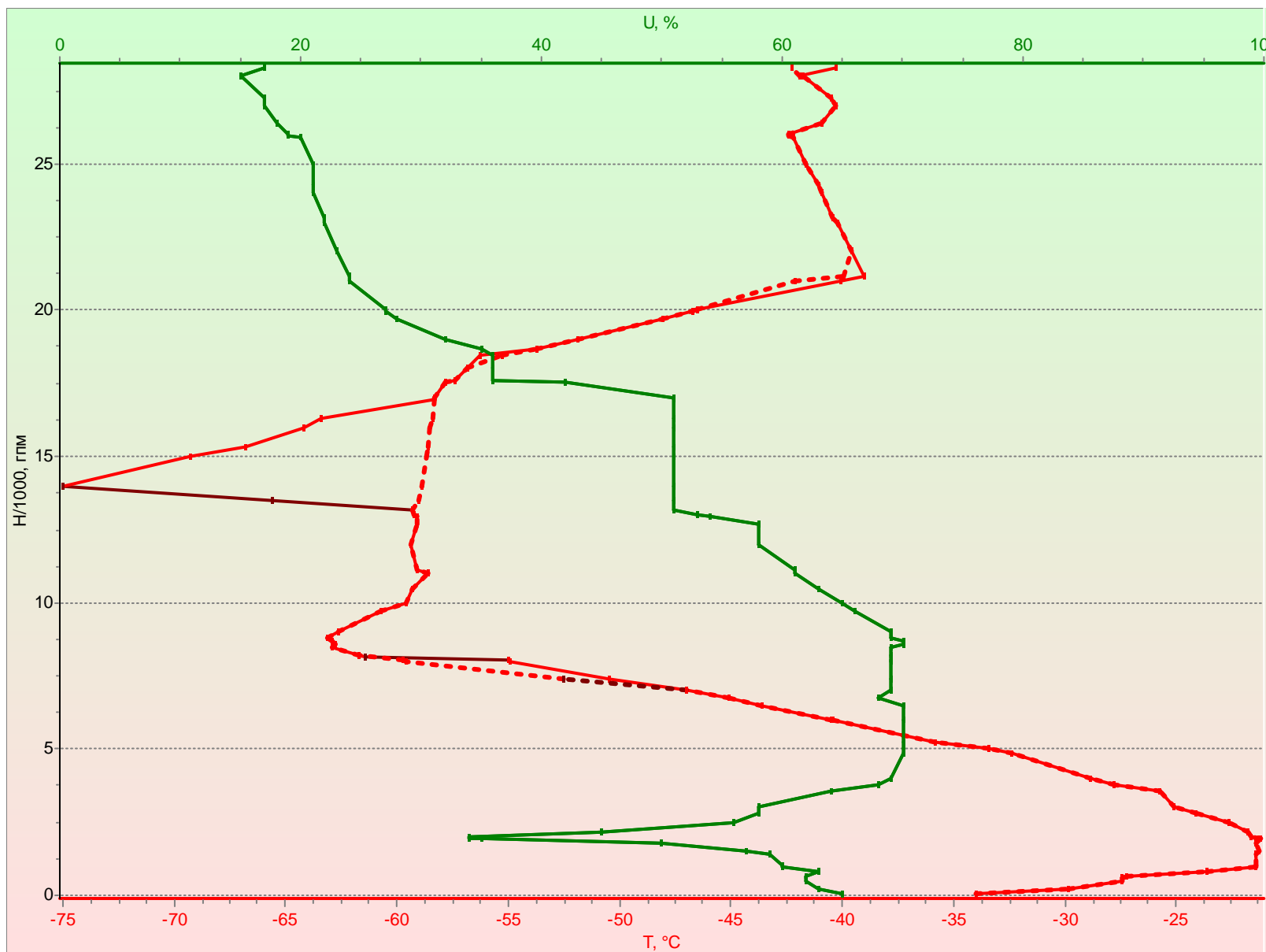


Рисунок 3.3-6. Результаты обработки при недостоверных первичных данных температуры (пунктиром показаны данные из файла ТАЕЗ, т.е. после исключения вручную недостоверных результатов обработки на АЭ). МАРЛ-А.

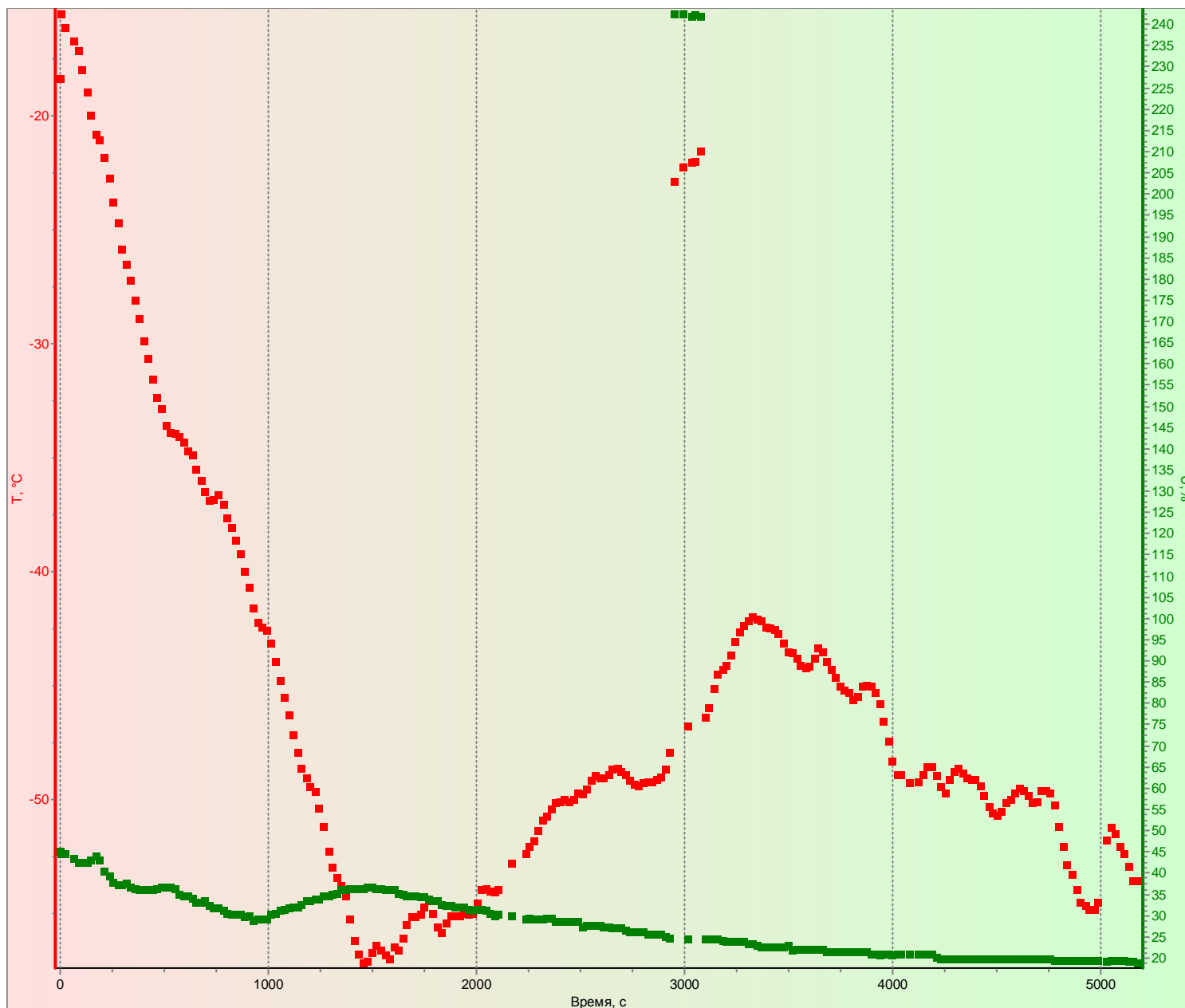


Рисунок 3.3-7. Удвоение длительности периода в опорном канале. АВК-АП «ЭОЛ».

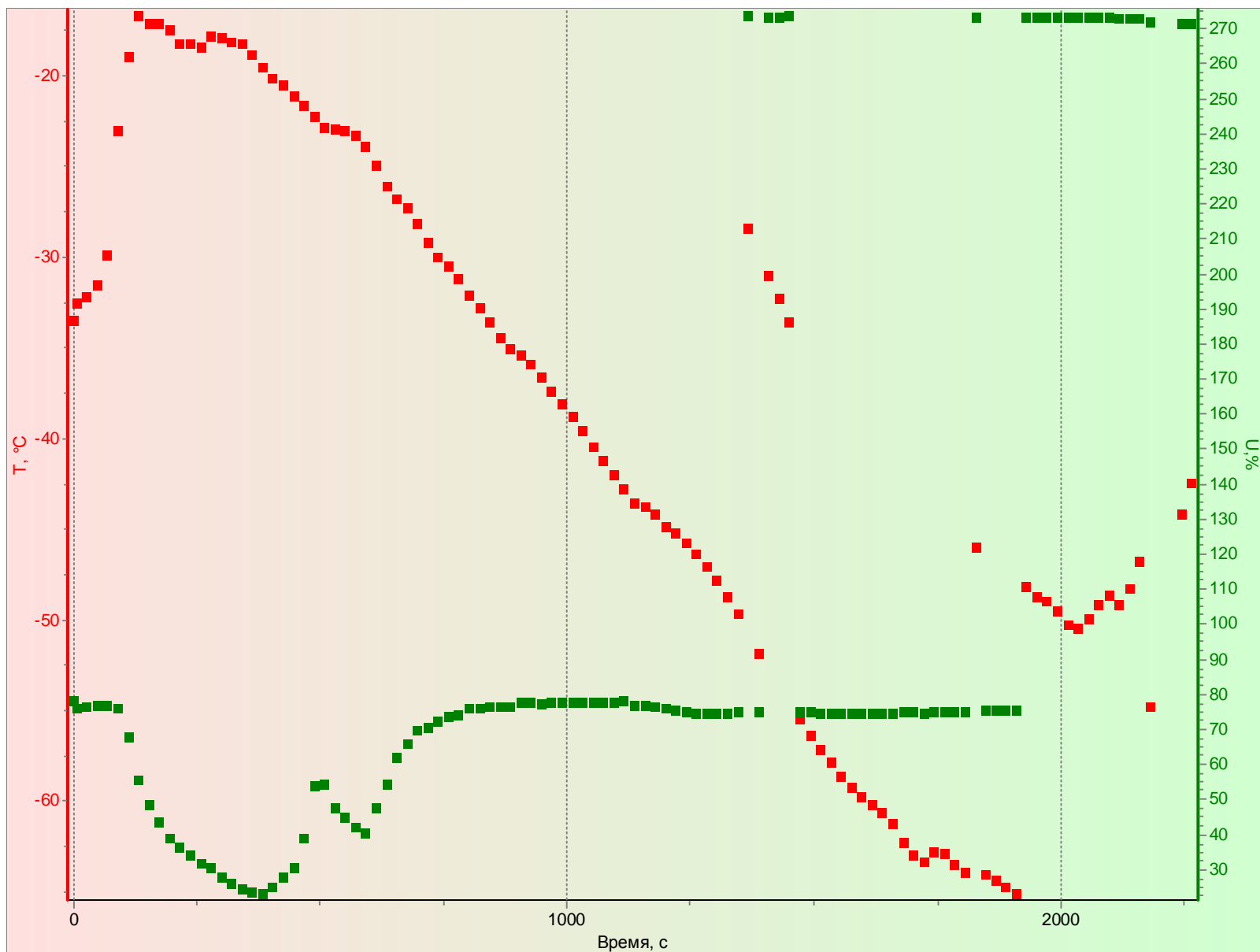


Рисунок 3.3-8. Удвоение длительности опорного периода. АВК-АП «ЭОЛ».

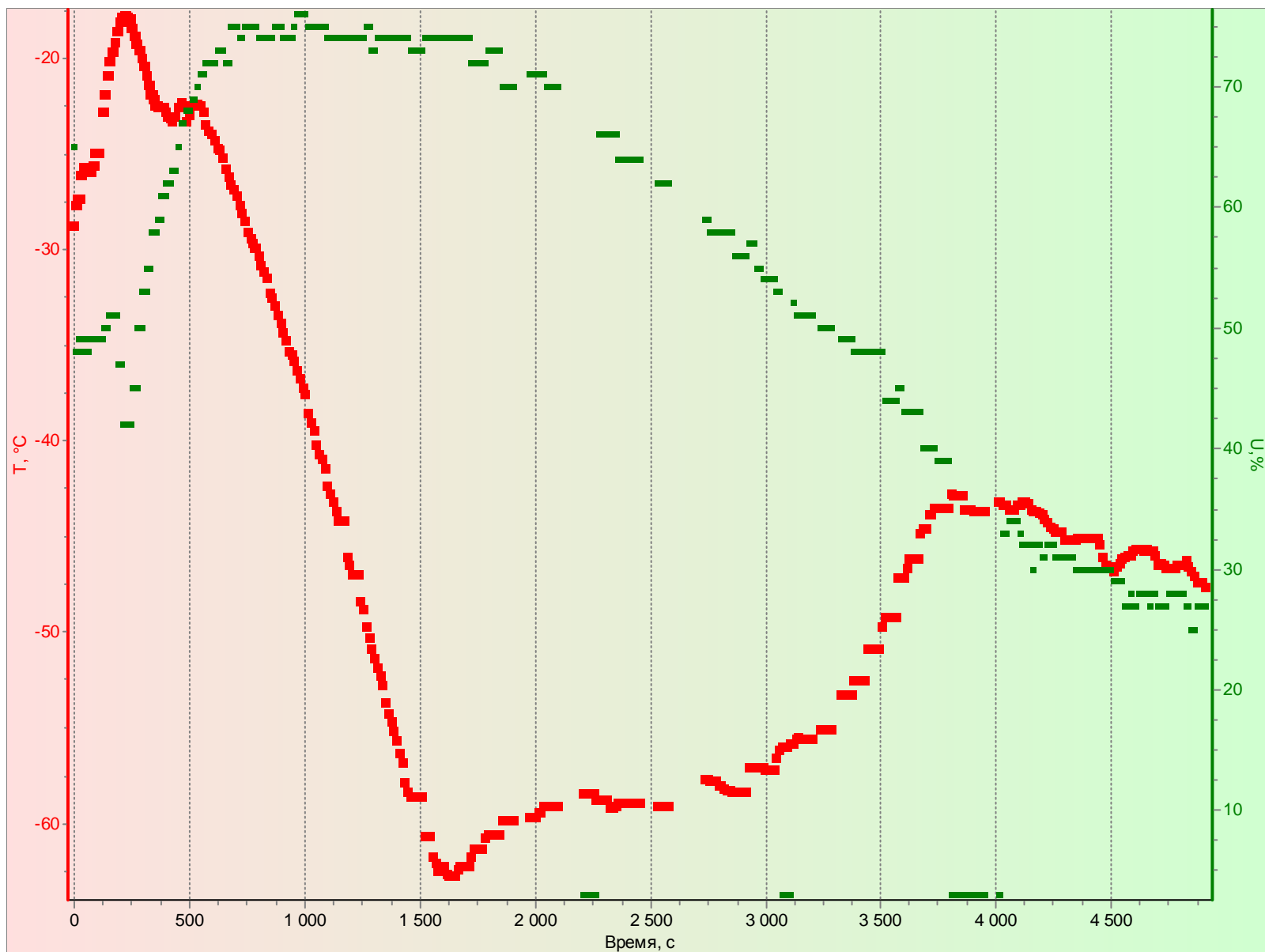


Рисунок 3.3-9. Повтор отсчетов при замираниях. МАРЛ-А.

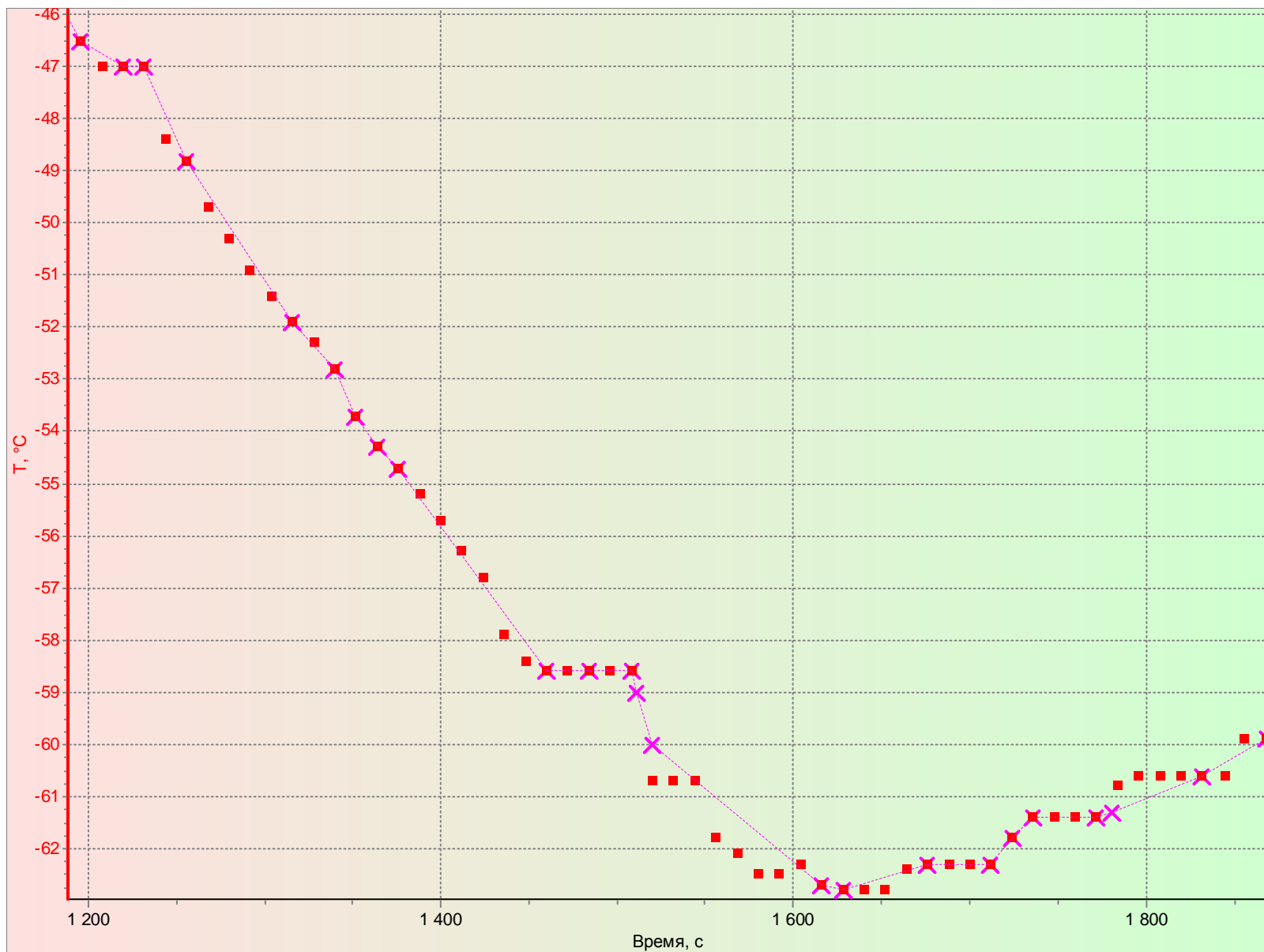


Рисунок 3.3-10. Повтор отсчетов при замираниях. Розовой линией показаны данные из RAW-файла. Данные того же выпуска, что и на рисунке выше.

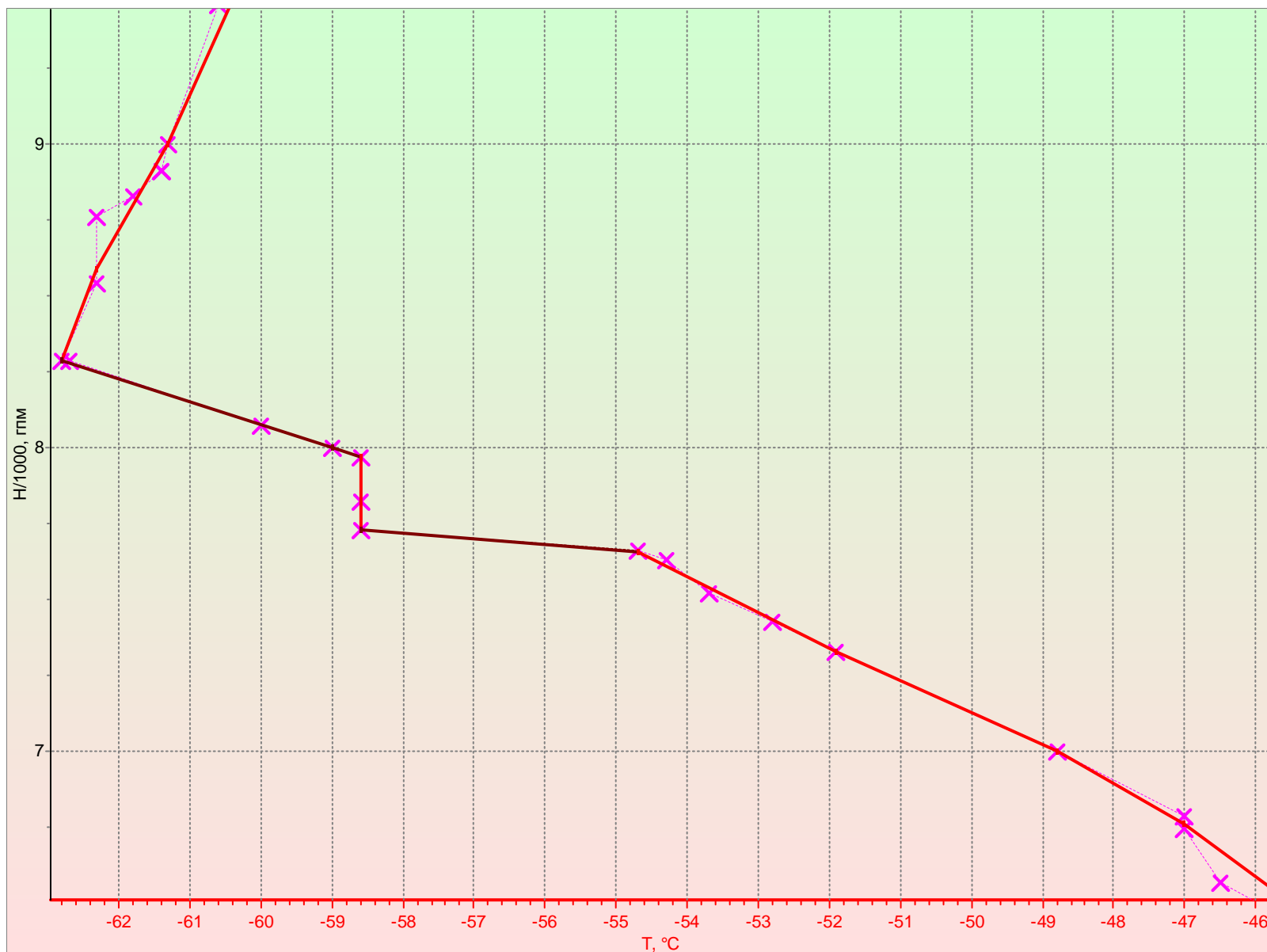


Рисунок 3.3-11. Повтор отсчетов при замиряниях – результаты обработки. Данные того же выпуска, что и на рисунке выше.

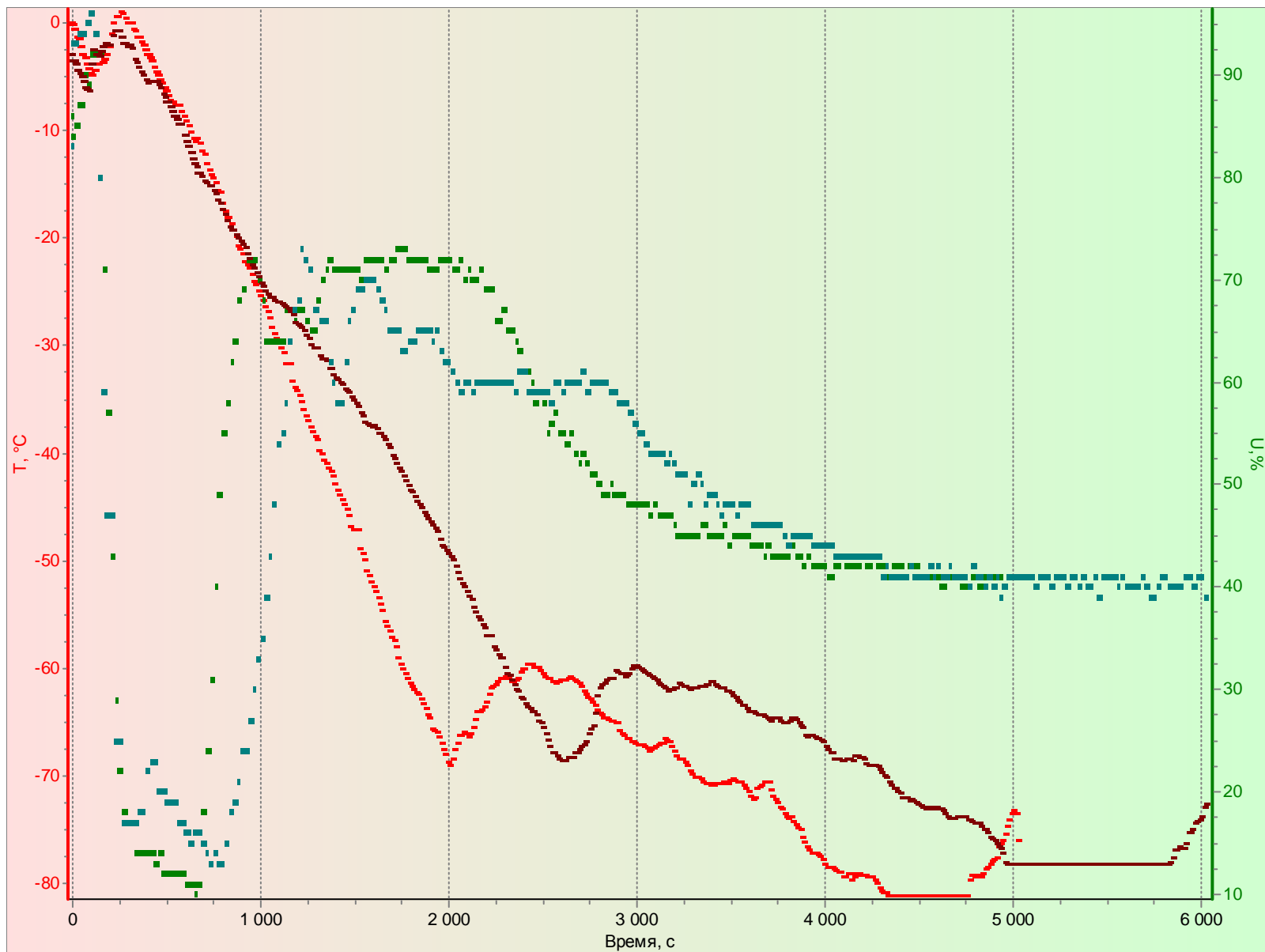


Рисунок 3.3-12. Прекращение регистрации температуры при низких температурах. МАРЛ-А.

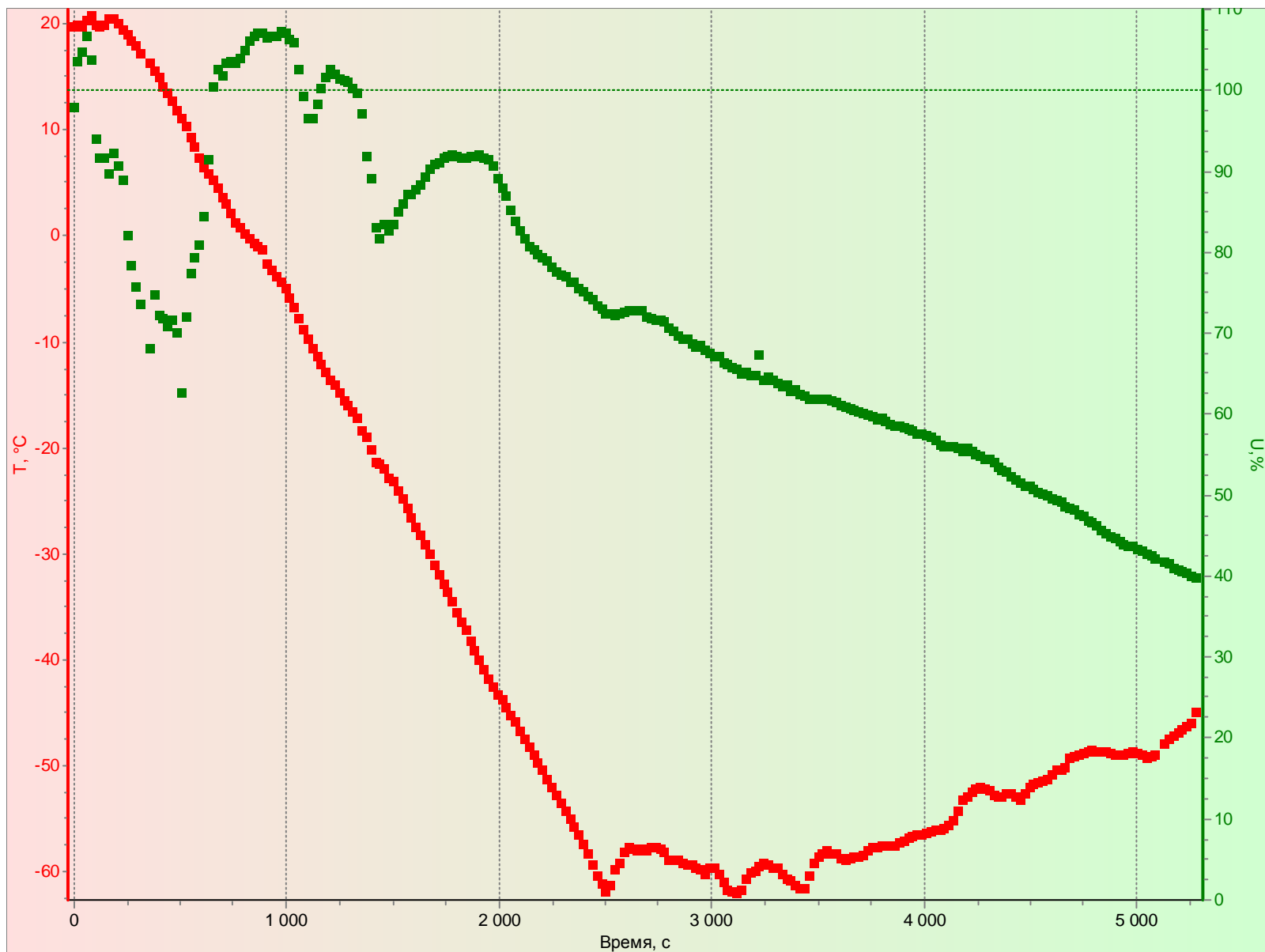


Рисунок 3.3-13. АВК-АП «ЭОЛ». Измеренная влажность >100 %.

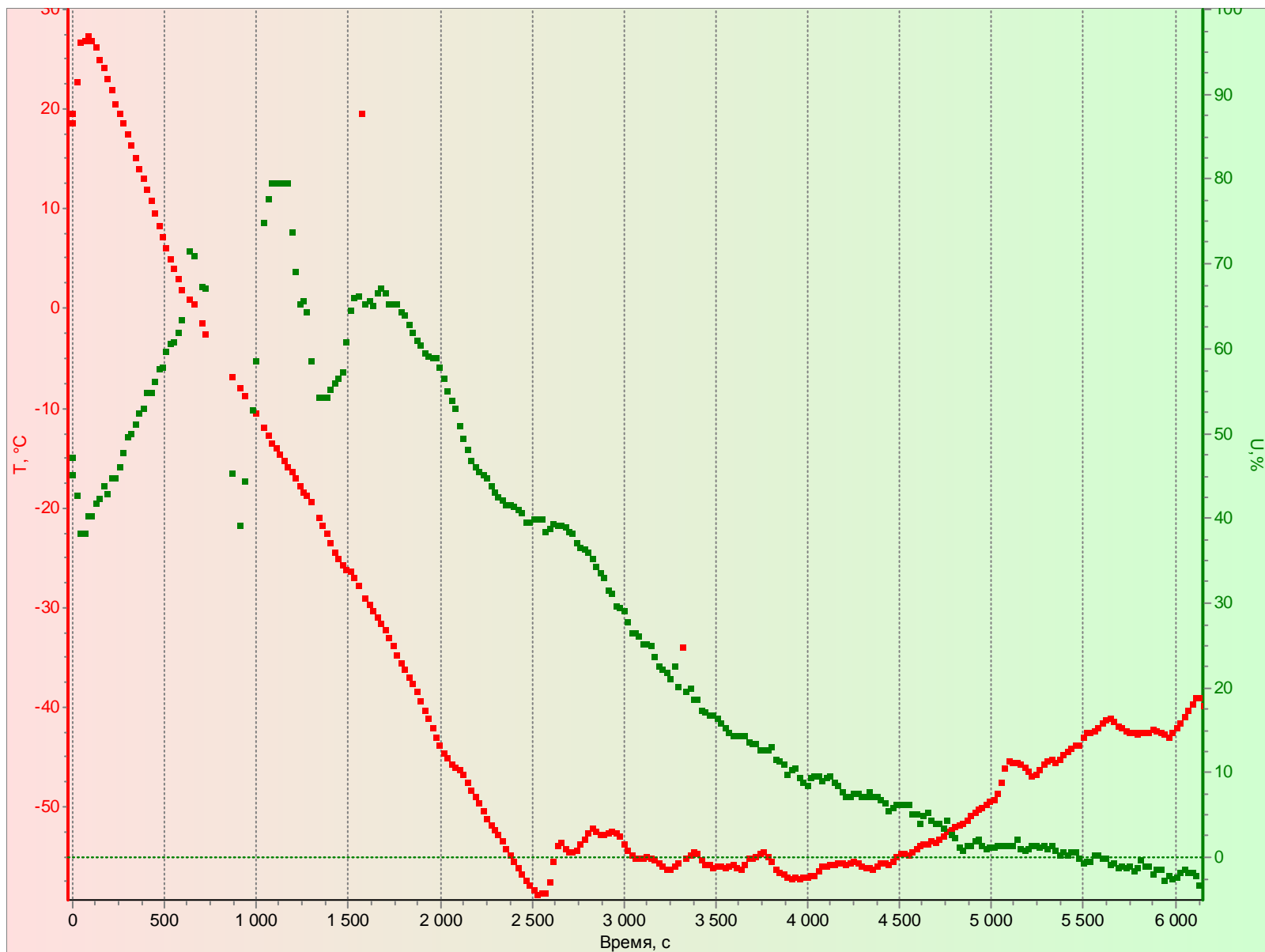


Рисунок 3.3-14. АВК-АП «ЭОЛ». Измеренная влажность <0 %.

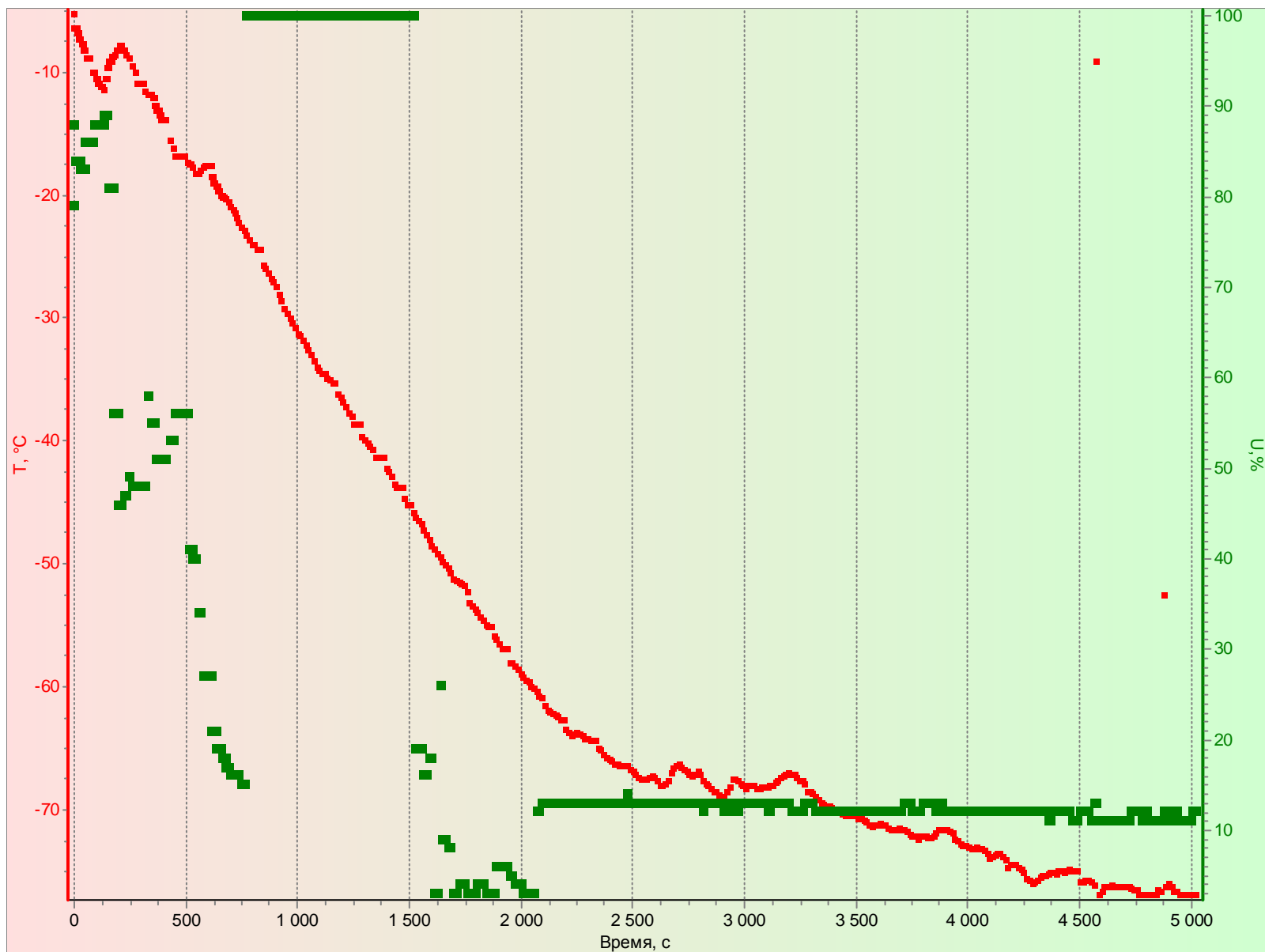


Рисунок 3.3-15. МАРЛ-А. Недостоверные значения влажности 100 % – нет кодов пропуска.

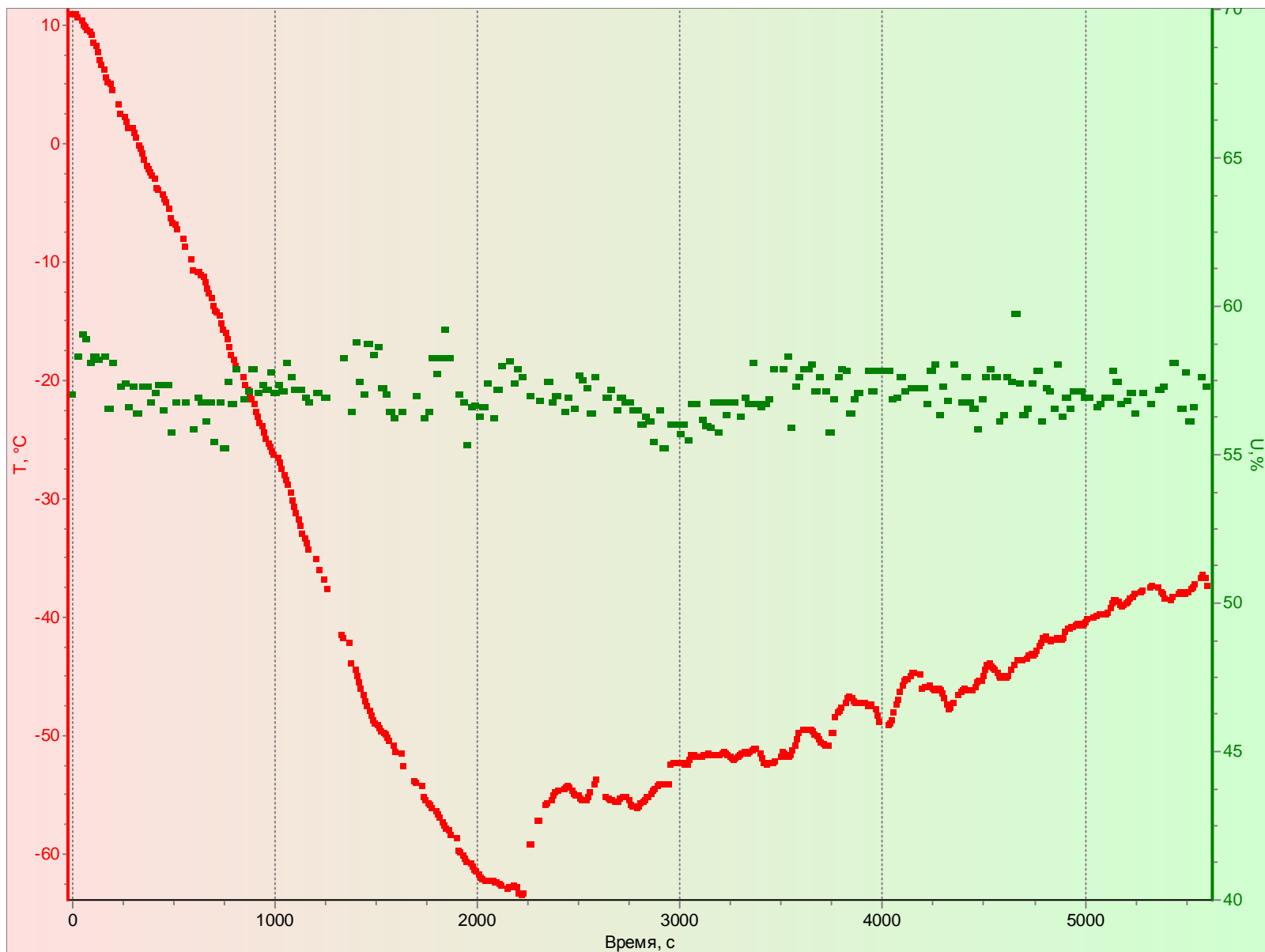


Рисунок 3.3-16. Датчик влажности нечувствителен - отказ. Вектор-М – МРЗ-3А*.

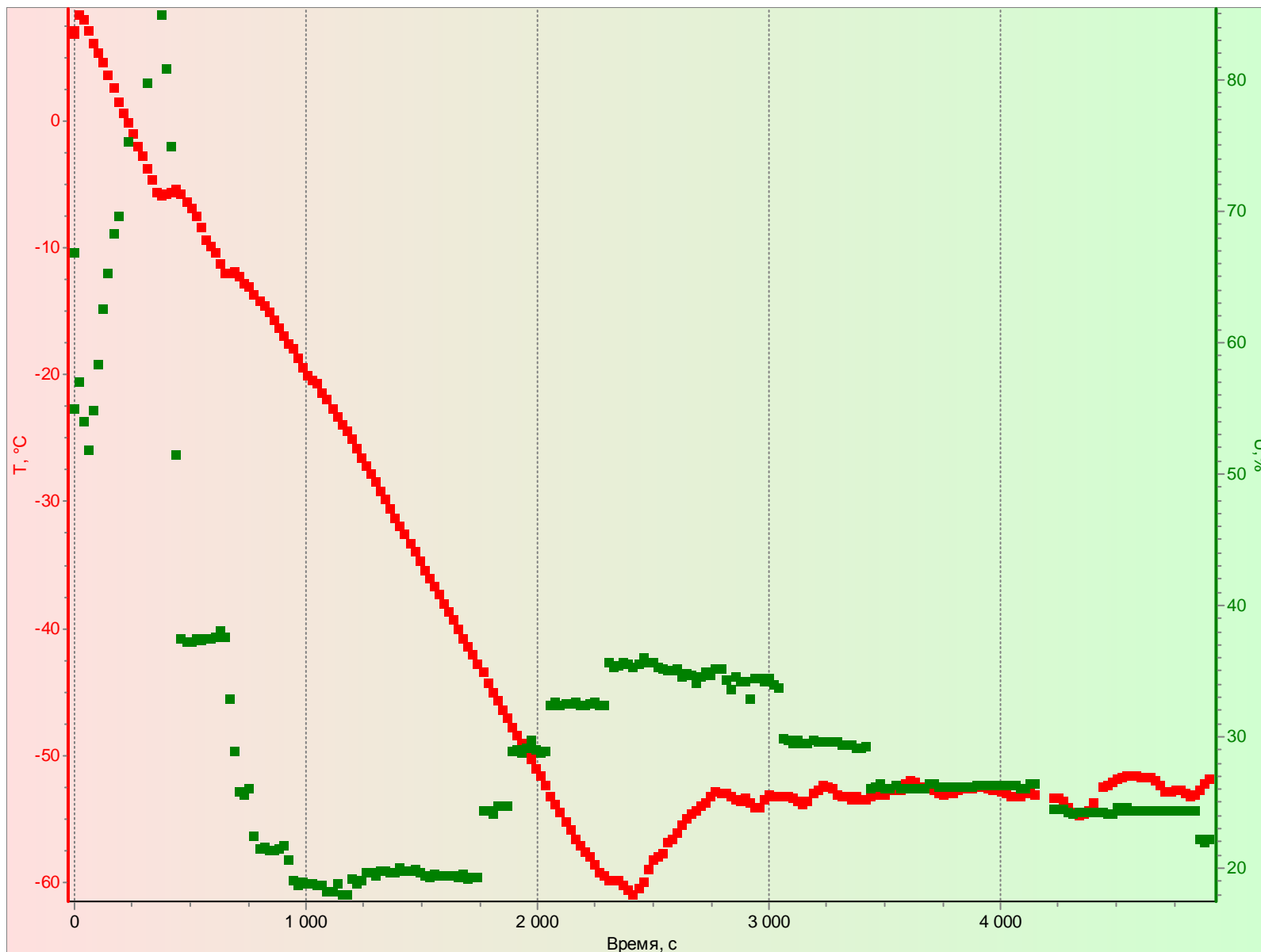


Рисунок 3.3-17. АВК-АП «ЭОЛ». МРЗ-3А. Пленочный датчик влажности, заедает реостат.