

**Climate and timberline dynamics in the Carpathian mountains during the XX ct.**

V.F. Martynova (vazira@gmail.com), E.K. Ivanova (nigmi2@yandex.ru), S.V. Savchuk (SvetlanaSVS@bigmir.net), A.V. Shandra (alya.shandra@gmail.com), P. Weisberg (pweisberg@cabnr.unr.edu).

Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kiev, Ukraine; University of Nevada, Reno, USA



**Введение**  
Задача исследования – определение влияния изменения климата на изменение верхней границы леса Карпатских гор. Исследование изменений климата – важная задача современности. В XX ст. он значительно менялся и чаще всего это проявилось в повышении основной характеристики климата – региональной температуры, особенно заметно в конце XX – начале XXI ст. В отделе климатических исследований и долгосрочного прогноза погоды УкрНИГМИ изменение температурного режима, в первую очередь, связывают с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции. Она меняется под влиянием естественных и антропогенных факторов и поэтому сама не является климатообразующим фактором. Ее изменение ведет к изменению региональной циркуляции и климатического режима на ее территории.

Климатические изменения имеют последствия для биосферы. Среди последствий современного климатического потепления – высотное смещение верхней границы леса (ВГЛ). Ее уровень сейчас поднялся во многих горных регионах Северного полушария. Повышение частоты стихийных явлений к концу XX ст. в результате глобального потепления указывает, что при исследовании изменения границы леса в Карпатах нужно анализировать не только основные метеорологические параметры (температуру и осадки), но и частоту ветров, селей, лавин. Хотя многие авторы подчеркивают, что сельскохозяйственная запущенность земель – основной фактор подъема ВГЛ, климатические изменения являются фактором, который будет иметь большее влияние в будущем.

Природное изменение верхней границы леса Карпат резко отличается по очертанию от нарушения ее под воздействием стихийных метеорологических явлений и человеческой деятельности, поэтому их можно четко разделить. В работе наибольшее внимание уделено естественному положению ВГЛ в Карпатах и ее изменению под влиянием основных климатических параметров (температуры и осадков).

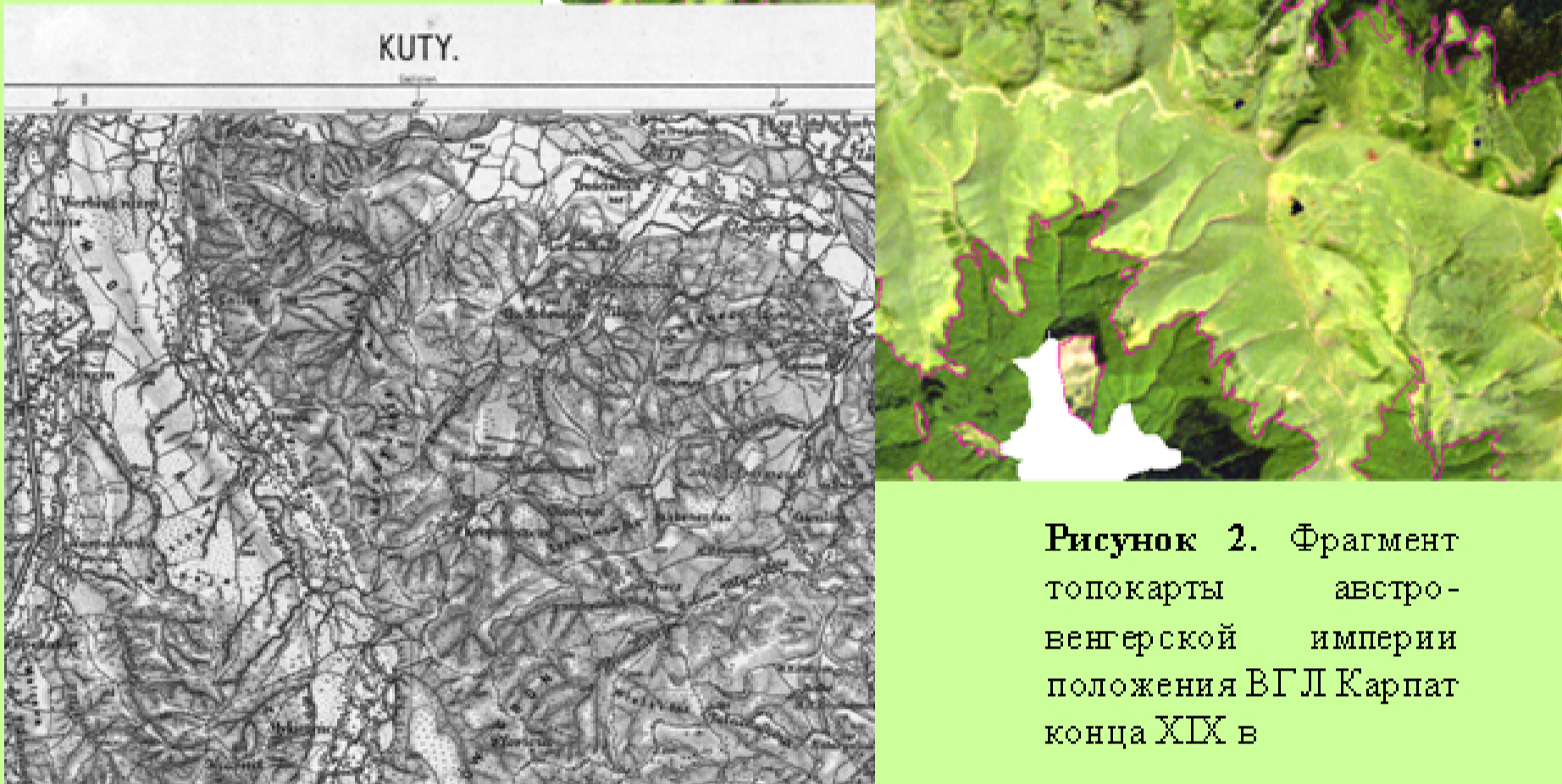
Расположение Карпатской дуги приводит к подчинению одной ее стороны преимущественно атмосферным процессам с северных широт и формированию погодных условий под влиянием южных процессов над другой стороной. Это формирует различные климатические условия. Однако, влияние крупномасштабных аномальных погодных условий сказывается почти одновременно над всеми Карпатами. Лиственные леса, как правило, произрастают там, где климат теплый, смешанные буково-хвойные – умеренно прохладный, а преимущественно хвойные – где он прохладный.

**Методика исследований**

В исследовании изменений климата использованы ряды средней месячной температуры воздуха и месячной суммы осадков 53 климатических станций региона Карпат, некоторые из них имеют длительный период 1880-2010 гг., данные среднемесячных полей атмосферного давления и температуры воздуха над Северным полушарием в узлах регулярной сетки re-анализа ERA-40 (ECMWF, ERA-40, [http://data.ecmwf.int/data/d/era40\\_daily](http://data.ecmwf.int/data/d/era40_daily)), ВНИИГМИ-МЦД (г. Обнинск, Россия), данные университета г. Кельна, отдела климатических исследований и долгосрочного прогноза погоды УкрНИГМИ с 1986 г. Изменение барического поля XX ст. рассматривалось по десятилетиям относительно 3-х периодов изменения глобальной температуры в XX ст.: первого глобального потепления (1911-1943 гг.), периода стабилизации (до середины 70-х), второго глобального потепления (с 1976 г. до нашего времени).

В исследовании современного положения ВГЛ Карпат (рис. 1) использовано 14 спутниковых снимка аппарата Landsat 7 (май-август 2000-2002 гг.), с сервера Американской геологической службы (usgs.gov). Спутниковые снимки прошли стандартные процедуры атмосферной и топографической коррекции, проклассифицированы методом Maximum Likelihood Classification (выделены классы зенового покрова: травяной покров, широколиственные леса, смешанные леса, темнохвойные леса, камни, вырубка, кустарники). В исследовании положения ВГЛ Карпат конца XIX в. использовано 116 топокарт выпуска около 1870 г., масштаба 1:75000 (рис. 2). Топокарты австро-венгерской империи прошли два этапа геопривязки по координатам рамки и референтным точкам. Средняя погрешность привязки составляла 74 м и близка аналогичному исследованию.

**Рисунок 1.** Фрагмент спутниковых снимка аппарата Landsat современного положения ВГЛ Карпат



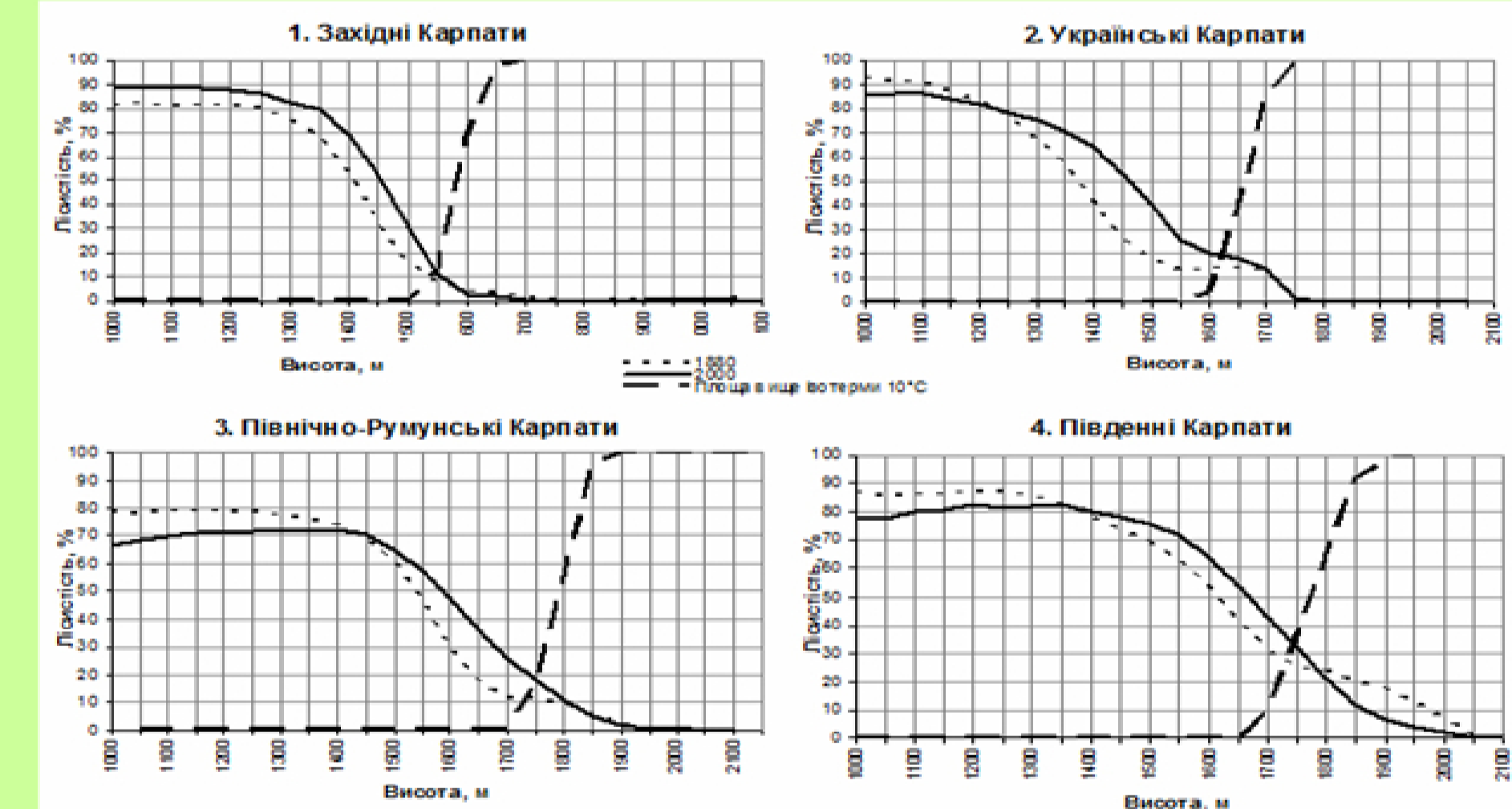
**Рисунок 2.** Фрагмент топокарты австро-венгерской империи положения ВГЛ Карпат конца XIX в.

**ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

**Верхняя граница леса Карпатских гор**

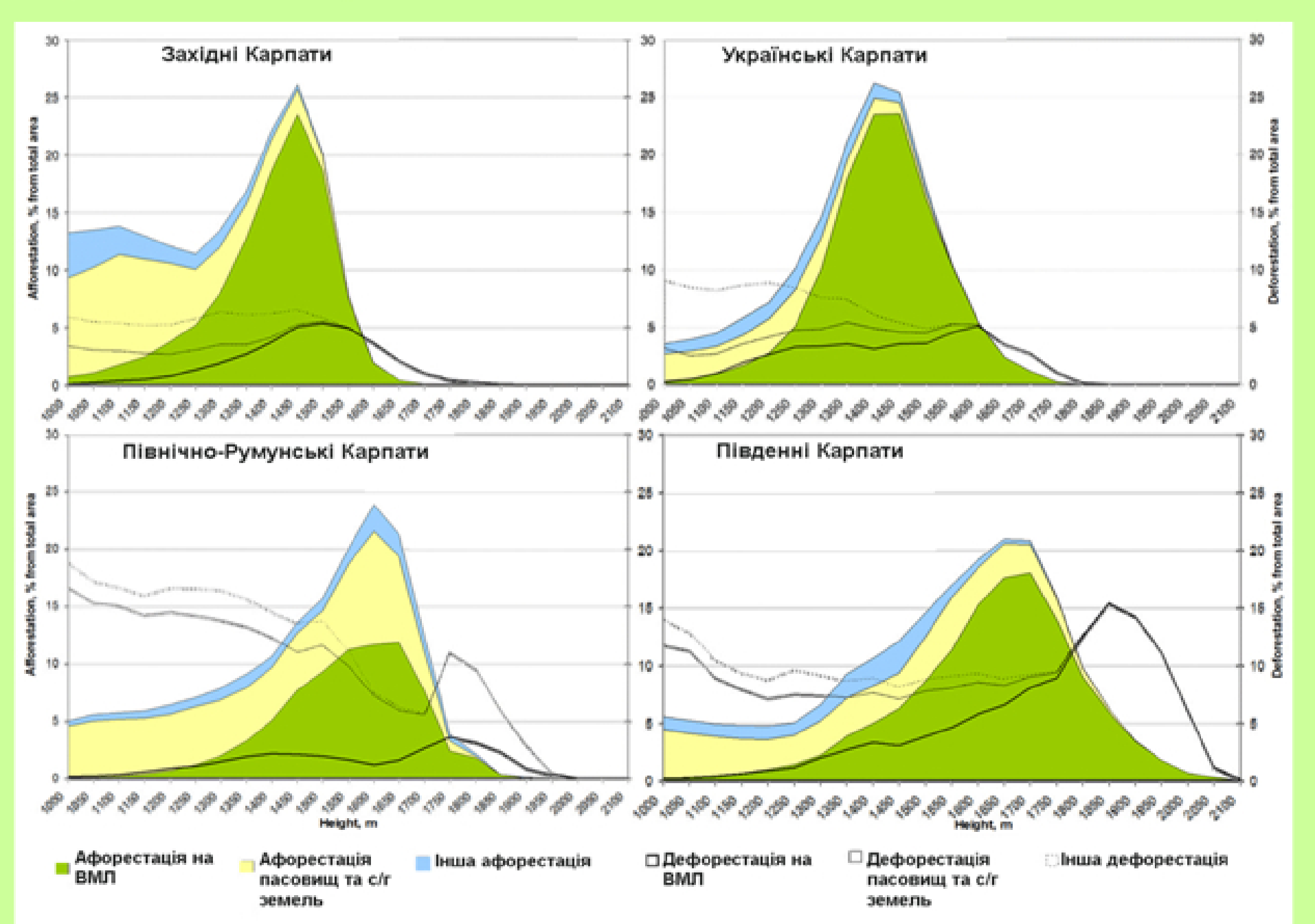
Для оценки разницы фактической и потенциальной высоты ВГЛ и ее антропогенного снижения используется аппроксимация потенциальной (климатической) ВГЛ по различным показателям, а именно – июльской изотерме 10 °С. Т.к. средние температуры в природе не существуют, они являются приблизительным показателем. Для получения июльской изотермы 10 °С проинтерполированы данные 48 метеостанций за 1961-1990 гг. методом кригинга с регионально определенными вертикальным градиентом температуры.

Если сравнить июльскую изотерму 10 °С с современным положением ВГЛ, то ВГЛ находится значительно ниже ее климатической аппроксимации по изотерме 10 °С. На рис. 4 сплошной линией нанесена лесистость, т.е. доля, занимаемая лесом на определенном высотном интервале, в 2000 г., короткой пунктирной линией – лесистость в 1880 г., длиной пунктирной – доля климатической зоны альпийских лугов, т.е. территории, превышающей 10 °С, на определенном высотном интервале. Лесистость во всех регионах начинает снижаться задолго до высоты с изотермой 10 °С. Изотерма 10 °С – приблизительная оценка границы температурного режима, при котором лес не растет. Большая территория без леса при температуре июля выше 10 °С, говорит о значительном влиянии других факторов на лесистость и положение ВГЛ, в т.ч. антропогенных. Только 4,7% длины очертания современной ВГЛ находится в пределах изотермы 10 °С и только 11% – в пределах 200 м от нее. На большей территории высота ВГЛ не превышает эту изотерму, но иногда в Южных Карпатах высота ВГЛ к концу XX ст. значительно превышает высоту изотермы (рис. 4, правая нижняя вставка). Т.е. аппроксимация изотермы 10°С, проведенная методом кригинга, неодинаково достоверна для Карпатского региона.



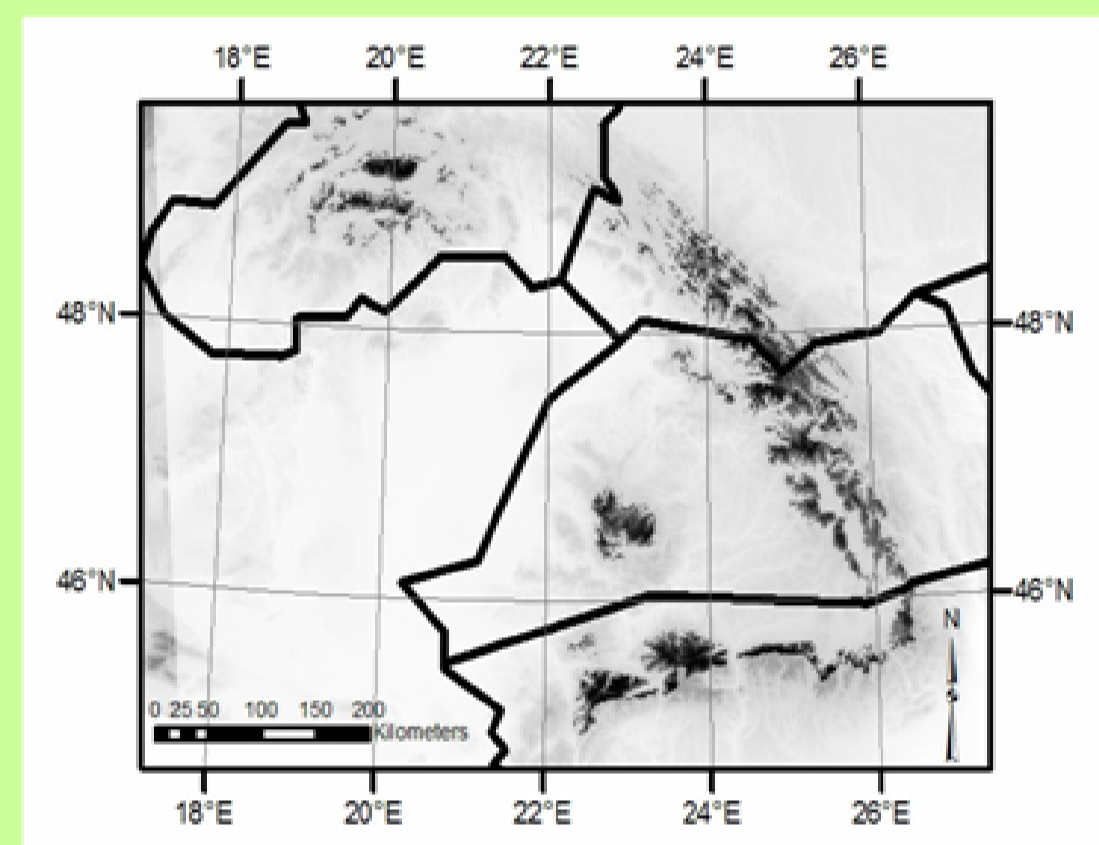
**Рисунок 4.** Лесистость в зависимости от высоты в четырех регионах Карпат в 1880 г. и 2000 г. и площадь территории, превышающей изотерму 10°С

ВГЛ Карпат имела большое антропогенное воздействие: лишь 11% ее длины находится в пределах 200 м от климатической ВГЛ, в основном, степень искусственного снижения ВГЛ составляет 300-400 м. Соответственно, т.к. климат не ведущий фактор, влияющий на ВГЛ, изменения ее положения – это сумма всех факторов влияния. Верхняя граница леса в горах Карпат является сложной мозаикой лесов, подтверждающая природу отзвон горных лесов на климатические изменения. Региональные различия изменений лесистости на ВГЛ делают неясными возможные реакции на климатические изменения и могут объясняться социо-политическими различиями в изменениях землепользования.



**Рисунок 5.** Высотное распределение изменения лесистости в регионах Карпат. Процентное значение – отношение площади, занятой переменной, к общей площади высотного градиента.

Территория разбита на районы Западных Карпат (Польша и Словакия), Украинских Карпат, Северо-Румунских Карпат (с горами Бихор), Южных Карпат (Южная Румыния) (рис. 3).



**Рисунок 3.** Территория исследования и выделенные регионы

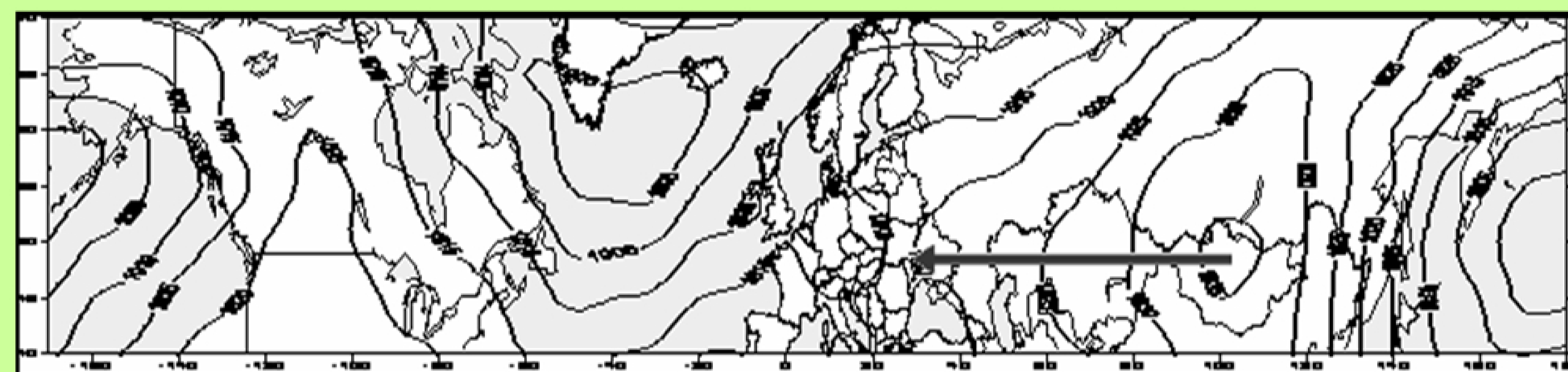
Произошла значительная афореустация около ВГЛ (треть территории), в основном, за счет темнохвойных и смешанных лесов и, соответственно, увеличилась высота ВГЛ. В основном, афореустация и дефореустация произошла из-за расширения или сокращения сельскохозяйственных земель или пастбищ. Одновременно, на крупнейших высотах дефореустация превысила афореустацию, что может вызываться активизацией селей или искусственным расширением пастбищ.

**Изменение крупномасштабной атмосферной циркуляции на протяжении XX столетия**

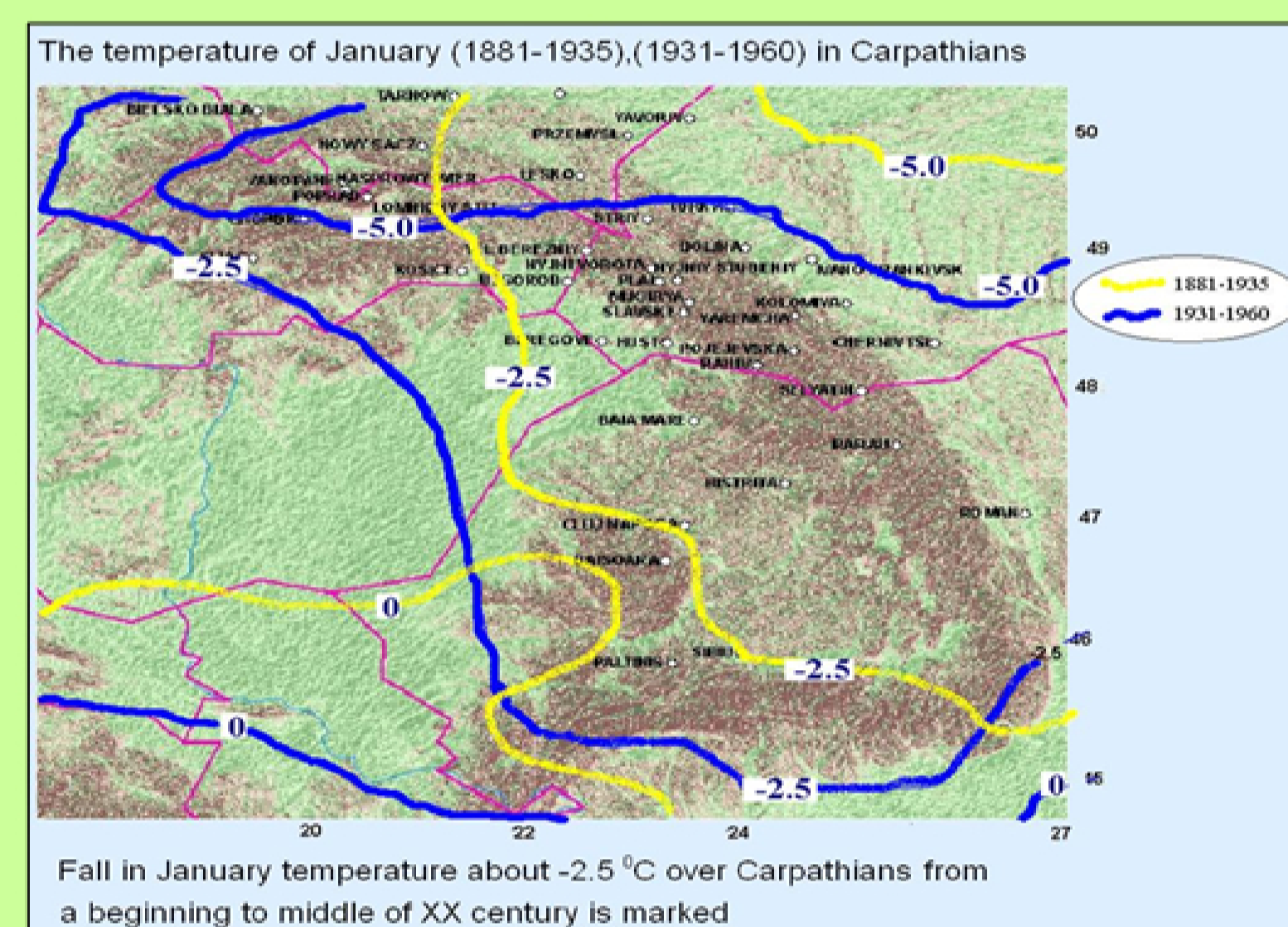
Результатом глобального повышения температуры воздуха во всех регионах и сезонах на начало нашего столетия. В результате такого изменения климата в Карпатах, следует ожидать повышения верхней границы леса. В наших исследованиях изменение климатических погодных условий, в первую очередь, связывается с изменением крупномасштабной атмосферной циркуляции в Северном полушарии, которая в последующем преобразует региональную циркуляцию для нового регионального климата.

Чтобы выяснить современное состояние крупномасштабной атмосферной циркуляции, нужно проанализировать ее изменение за столетие или с момента проявления глобального потепления. Изменение глобальной температуры в XX ст. выявило 3 периода изменения глобальной температуры, указанных выше, поэтому изменение барического поля от десятилетия к десятилетию XX ст. рассмотрено относительно этих периодов.

В первом периоде повышение глобальной температуры происходит в основном за счет природного фактора. К концу этого периода обостряются все центры действия атмосферы (рис. 6), что приводит к похолоданию над территорией Атлантико-Европейского сектора и над Карпатами из-за смещения холодного воздуха из Сибири на запад.



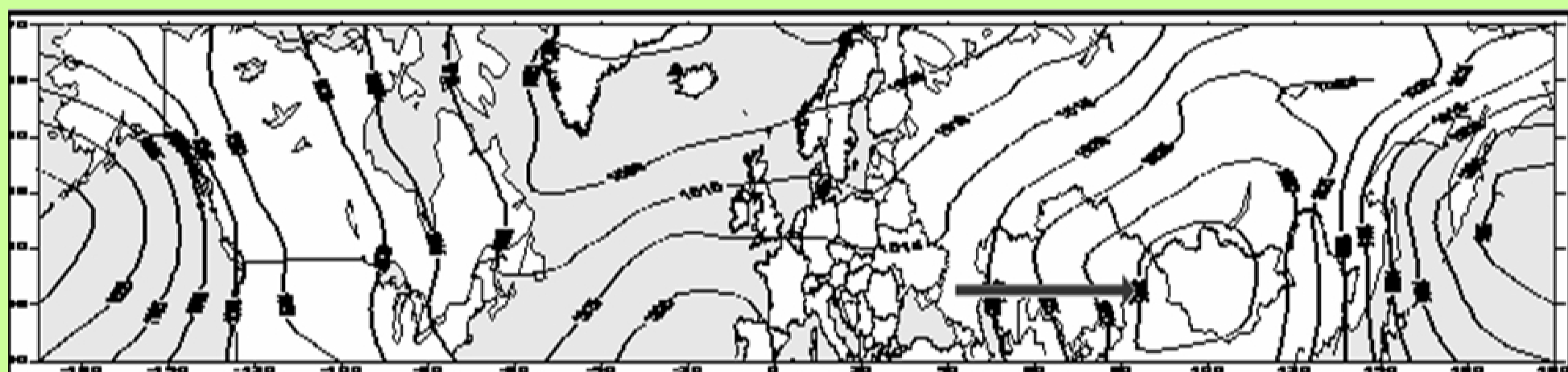
**Рисунок 6.** Поле приземного давления воздуха в Северном полушарии конца первого периода потепления, 1930-1939, январь



В следующем периоде глобального потепления продолжается обострение центров действия атмосферы и усиливается похолодание в Европе (рис. 7).

Во втором периоде потепления все центры действия атмосферы сохраняются в относительно стабильном состоянии, но происходит заметное их ослабление. Область пониженного давления над Европой притесняет и разрушает область высокого давления Сибирского максимума и смещает холодный воздух на восток (рис. 8). За счет этого в этот период в Европе отмечается преимущество теплые зимы.

**Рисунок 7.** Понижение температуры воздуха в период стабилизации глобальной температуры



**Рисунок 8.** Поле приземного давления воздуха в Северном полушарии конца XX ст., 1990-1999 гг., январь

В связи с изменением крупномасштабной и региональной циркуляции атмосферы, и термического режима над Атлантико-Европейским сектором изменяется региональный климат над территорией Карпатских гор к концу XX ст.

**Изменения климата Карпатских гор к началу XXI столетия**

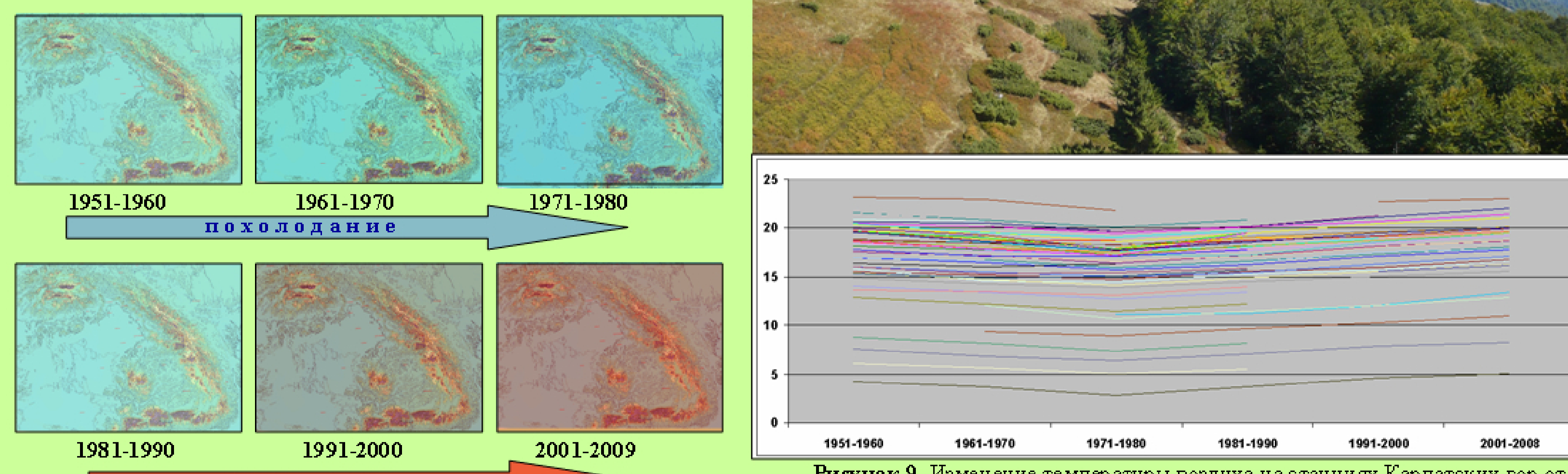
К началу XXI ст. в Западных Карпатах больше всего повысилась температура зимой и незначительно изменилась в переходные сезоны. Летом температура воздуха также немного повышается. Осадки увеличились зимой, летом и меньше осенью, а весной они уменьшились. В то же время, их количество на вершинах во все сезоны заметно увеличивается, способствуя увеличению вероятности скола снежных лавин, селей, лаводков.

Наиболее заметным повышением температуры зимой над Украинскими Карпатами стало в последние десятилетия XX ст. Во второй половине XX ст. температура воздуха резко изменилась. В первые десятилетия отмечено резкое похолодание, как в целом за год, так и по сезонам. В последующие десятилетия, вплоть до конца столетия, температура начинает незначительно повышаться и лишь в последнее десятилетие этот подъем достиг значений 1951-1960 гг. Т.е., несмотря на глобальное повышение температуры, над Карпатами произошло понижение и, в последствии, ее повышение. Однако, повышение температур в целом абсолютных максимальных значений к началу XXI ст. не достигло и в первом десятилетии нового столетия, в целом по всем сезонам, температура поднималась где-то до 1 °С относительно середины XX ст. Изменения осадков происходили заметнее с южной стороны, чем с северной стороны Украинских Карпат. Заметное их увеличение практически во все сезоны отмечено в 1971-1980 гг., в последующие годы южный склон сохранил это их количество, а на северном склоне отмечалась неустойчивость в осадках, хотя до последнего десятилетия XX ст. они изменялись мало.

В Восточных и Южных Карпатах Румынии изменение температурного режима происходило аналогично изменениям в Украинских Карпатах. Амплитуда температурных колебаний с высотой понижалась. Наибольшие изменения температуры воздуха с середины XX ст. отмечены на средних высотах Румынских Карпат. В ходе осадков во все сезоны есть и общие закономерности, и отличия. Относительно сухими были 60-е годы, когда на большинстве станций количество осадков уменьшилось и в переходные сезоны было минимальным. В 70-е гг. на большинстве станций во все сезоны суммы осадков увеличились, а летом и в переходные сезоны были максимальными. В последующие десятилетия количество осадков во все сезоны уменьшалось.

Проведенные исследования на метеорологических станциях Карпат с различными высотой и экспозицией склонов за последние полвека показали согласованные изменения температурного режима от десятилетия к десятилетию над всей их территорией. Для примера на рис. 9 представлена температура воздуха июля, средняя для отдельных десятилетий периода 1951-2010 гг. на всех станциях Карпат. Изменение температуры воздуха: ее понижения и повышения, происходило одновременно на всех станциях Карпат без учета склона и высоты.

Начиная с 1951-1960 гг. до 1971-1980 гг. температура понижалась на всех станциях и повысилась на них в последующие десятилетия. Температура воздуха превысила значение 1951-1960 гг. только в 2001-2009 гг.



**Рисунок 9.** Изменение температуры воздуха над Карпатскими горами со второй половины XX столетия.

**Выводы**

- Изотерма 10°С является приблизительной оценкой границы температурного режима, выше которой лес не растет. Большая территория без леса при средней температуре июля выше 10°С, говорит о значительном влиянии других факторов на лесистость и положение ВГЛ, которое определяется деятельностью человека и влиянием стихийных метеорологических явлений.
- Суммарная афореустация превышает дефореустацию в Западных и Украинских Карпатах, а в Румынии масштабы дефореустации почти уравнивают афореустацию на высотах ее максимума.
- Изменение общей циркуляции воздуха Северного полушария за XX ст. относительно 3-х периодов изменения глобальной температуры показало, что обострение всех центров действия атмосферы, которое привело к похолоданию над Атлантико-Европейским сектором и Карпатами, из-за смещения холодного воздуха из Сибири на запад, отмечено в первой половине столетия и, особенно, к концу второго периода изменения глобальной температуры. Во втором периоде потепления все центры действия атмосферы сохраняются в относительно стабильном состоянии, но происходит заметное их ослабление. Область пониженного давления над Европой притесняет и разрушает область высокого давления Сибирского максимума и смещает холодный воздух на восток, приводя к теплым зимам.
- Проведенные исследования на метеорологических станциях Карпат с различными высотой и экспозицией склонов за последние полвека показали согласованные изменения температурного режима от десятилетия к десятилетию над всей их территорией: начиная с 1951-1960 гг. до 1971-1980 гг. температура понижалась на всех станциях и повысилась на них в последующие десятилетия.