

Литература

2. Гидрогеологическая карта СССР. М 1:200000. Серия Западно-Забайкальская. Лист М-48-XIV. 1974. – 63 с.
3. Смирнова О.К., Плюснин А.М. Джидинский рудный район (проблемы состояния окружающей среды)- Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. – 181 с.
4. Уфимцев Г.Ф. Горные пояса континентов и симметрия рельефа Земли. Новосибирск: Наука, 1991. – 169 с.
5. Шульга Ф.И. Гидрогеологические условия центральной части Джидинского рудного района. Улан-Удэ. 1970. – 153 с.

**ПОДЗЕМНЫЙ СТОК В ТАЁЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ:
МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ИХ ПРИЧИНЫ**

О.Г. Савичев¹, В.А. Льготин²

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, E-mail: OSavichev@mail.ru*

² *Акционерное общество «Томскгеомониторинг», Томск, Россия, E-mail: lv@tgm.ru*

Аннотация. Проведён расчёт среднемесячных и среднегодовых значений подземного стока в таёжной зоне Западной Сибири, выполнен статистический анализ полученных данных и материалов наблюдений за уровнями подземных вод верхней гидродинамической зоны на участках вне явного антропогенного влияния. Установлено, что в регионе в последние десятилетия происходило статистически значимое увеличение подземной составляющей речного стока и уровней подземных вод. Увеличение подземного стока удовлетворительно объясняется смещением сроков установления снегового покрова и снеготаяния, снижением испарения с поверхности водосборов при уменьшении температур воздуха в летний период и увеличением температуры в остальные месяцы года даже при отсутствии изменений годового атмосферного увлажнения.

Abstract. Calculation of monthly average and mid-annual values of a ground flow in a taiga zone of Western Siberia is carried out. The statistical analysis of the received data and materials of supervision over levels of ground waters of the top hydrodynamical zone on sites outside of obvious anthropogenous influence is executed. In region last decades there was statistically significant increase in a underground component of a river drain and levels of ground waters. The increase in a ground flow well speaks displacement of terms of an establishment of a snow cover and snow melting, decrease in evaporation from a surface of river basins at reduction of temperatures of air during the summer period and increase in temperature in other months of year even at absence of changes of annual atmospheric humidifying.

Введение

Проблема глобальных изменений окружающей среды и климата в настоящее время является одной из важнейших проблем, рассматриваемых науками о Земле, поскольку от её решения в значительной степени зависит выбор стратегии развития как отдельных стран, так и всего международного сообщества [1, 8]. С учетом этого становится очевидной актуальность оценки изучения состояния крупных геосистем и выявления причин, их обусловивших. Необходимость в подобных исследованиях существует и в Западной Сибири, в пределах которой рядом авторов были отмечены статистически значимые изменения гидрометеорологических и гидрогеологических условий [2, 3, 4, 7, 10, 11], что и определило цель рассматриваемой работы – анализ причин этих изменений.

Объектом исследования послужили подземные воды верхней гидродинамической зоны в таёжной зоне Западной Сибири – территории, административно соответствующей преимущественно Томской области (с привлечением данных по

Ханты-Мансийского автономному округу, Новосибирской и Кемеровской областям, Алтайскому краю), а географически – бассейну реки Обь на участке её среднего течения. Регион характеризуется исключительно высокой заболоченностью и перспективен с точки зрения добычи нефти и газа, что дополнительно усиливает актуальность гидрогеологических исследований.

Исходные данные и методика исследования

Исходной информацией для проведения исследований послужили: 1) материалы наблюдений Росгидромета за расходами и уровнями воды средних рек с 1937 по 2012 гг.; 2) данные об уровнях и температуре подземных вод четвертичных и палеогеновых отложений, полученные с 1970 по 1995 г. Томской геолого-разведочной экспедицией (ТГРЭ), а с 1996 по настоящее время – АО «Томскгеомониторинг» на режимных скважинах государственной наблюдательной сети; 3) материалы наблюдений Росгидромета за температурой приземных слоев воздуха и атмосферными осадками с 1970 по 2008 г.

Методика исследования включала в себя, во-первых, статистический анализ данных об уровнях подземных вод, в том числе проверку нулевых гипотез о: 1) случайности рядов наблюдений с помощью критерия Питмена π и с использованием линейной модели вида $Y=a \cdot t+b$, где Y – исследуемая величина; t – календарный год; a и b – эмпирические константы; 2) их однородности с помощью критериев Уилкоксона W и Фишера F . Вывод о неслучайном изменении или нарушении однородности рядов делался при уровне значимости $\alpha=5\%$ в случае, когда расчетная статистика (π , F) по модулю превышала соответствующее критическое значение ($\pi_{кр}$ или $F_{кр}$) или (для W) выходила за допустимые границы (W_1 , W_2). Более подробно используемая методика изложена в [4].

Во-вторых, проводились генерирование и последующий статистический анализ рядов среднемесячных, среднесезонных и среднегодовых значений подземного стока. Определение подземного стока основывалось на двух ключевых допущениях: 1) водный сток незарегулированных рек в период зимней межени при отсутствии некомпенсируемых объемов сбросов и забора природных вод в целом эквивалентен подземному стоку с водосборной территории; 2) зависимости между уровнями подземных вод и подземным стоком, найденные для зимней межени, в целом сохраняются в течение всего года [4]. С учётом этих допущений для таёжной зоны в бассейне р. Обь при упрощении уравнения установившейся фильтрации в безнапорном пласте были получены зависимости между подземным стоком, уровнями подземных и речных вод вида:

$$Q_{gw} = a_1 \cdot (H_g^2 - H_r^2) + a_2 \cdot H_g + a_3, \quad (1)$$

где Q_{gw} – приток подземных вод в речную сеть; H_r и H_g – уровни речных и грунтовых вод; a_1 , a_2 , a_3 – параметры, которые были оценены методом наименьших квадратов по данным за зимний меженный период, когда известны все остальные компоненты. Одновременно с расчетами подземного стока по зависимости вида (1) было проведено расчленение речных гидрографов линейной интерполяцией по уравнению:

$$Q_{gw} = \begin{cases} Q_{am}, n = 12, n < 4 \\ Q_{III} + \frac{Q_{XII} - Q_{III}}{12 - 3} \cdot (n - 3), \end{cases} \quad (2)$$

где Q_{am} – среднемесячный расход воды реки; Q_{III} и Q_{XII} – среднемесячные расходы воды за март и декабрь соответственно (в эти месяцы обычно наблюдается

устойчивый ледяной покров на реках и снежный покров на водосборах региона); n – номер расчетного календарного месяца. Статистический анализ полученных рядов выполнялся аналогично анализу уровней подземных вод.

В-третьих, проводился корреляционный и регрессионный анализ рядов среднемесячных и среднегодовых значений температуры приземных слоев воздуха и подземных вод, уровнями и температурой подземных вод и расходов подземных вод с целью выявления возможных связей между ними. В качестве критерия наличия подобных связей использовалось условие $R^2 > 0.36$, где R^2 – квадрат корреляционного отношения [9].

Затем на основе полученных результатов осуществлялся заключительный четвертый этап – построение и анализ модели формирования суммарного и подземного водного стока средней реки (с площадью водосбора от 2000 до 50000 кв²). Выбор средних рек обусловлен тем, что они в наибольшей степени отражают зональные закономерности изменения климатических, гидрологических и гидрогеологических условий. Математическая модель формирования водного стока при отсутствии водопритока из смежных водосборов включает в себя следующие блоки:

$$Y_t = X_t - E_t \pm \Delta U_t, \quad (3)$$

где Y_t – слой суммарного водного стока (поверхностного $Y_{s,t}$ и подземного $Y_{g,t}$) за период времени t (за месяц Y_m или год Y_y); X_t – слой атмосферного увлажнения; E_t – слой испарения с поверхности водосбора с учетом конденсации влаги (за месяц E_m или год E_y); ΔU_t – изменение влагозапасов в водосборе (за месяц ΔU_m или год ΔU_y) [9]. В среднемноголетнем разрезе (для статистически однородного периода по условиям формирования и изменения стока) в первом приближении обычно предполагается, что величина ΔU_y менее 1 мм/год, что в случае годового расчетного интервала позволяет упростить выражение (3), а уравнение годового водного баланса представить в виде:

$$Y_y \approx X_y - E_y. \quad (4)$$

Месячное «эффeктивное» атмосферное увлажнение X_m определяется как сумма значений слоя дождей и водоотдачи из сезонного снежного покрова, сформировавшегося в холодный период года. Водоотдача из снега рассчитана с использованием температурных коэффициентов. Месячное испарение с поверхности водосбора E_m при оценке современного состояния окружающей среды в тёплый период года определяется по методу М.И. Будыко, а при прогнозной оценке водного баланса – по методу В.С. Мезенцева. Более подробное описание модели приведено в [5, 6].

Результаты исследования и их обсуждение

Изменения уровней подземных вод. Рассмотренные в работе скважины являются наблюдательными и не находятся в зоне явно выраженного антропогенного влияния. Часть их вскрывает грунтовые воды, для которых свойственны весенне-осеннее питание при инфильтрации талых и дождевых вод и преимущественно террасовый вид режима, а остальные скважины – напорные воды весенне-осеннего питания. Анализ данных показал, что среднегодовые значения уровней грунтовых вод в таёжной части Западно-Сибирского артезианского бассейна в целом постепенно увеличиваются (в среднем на 0,21 м за последние 40-лет, рис. 1). Наиболее выражены тенденции роста в правобережной части бассейна р. Обь, в зоне средней тайги. При этом необходимо отметить, что на прилегающих территориях лесостепной и степной зон и горных районов в естественных или близких к ним условиях за последние сорок лет отмечены тенденции и увеличения, и уменьшения уровней грунтовых и слабонапорных вод в 1980-2000-е гг., достигающего в ряде случаев 1 м и более [2, 7].

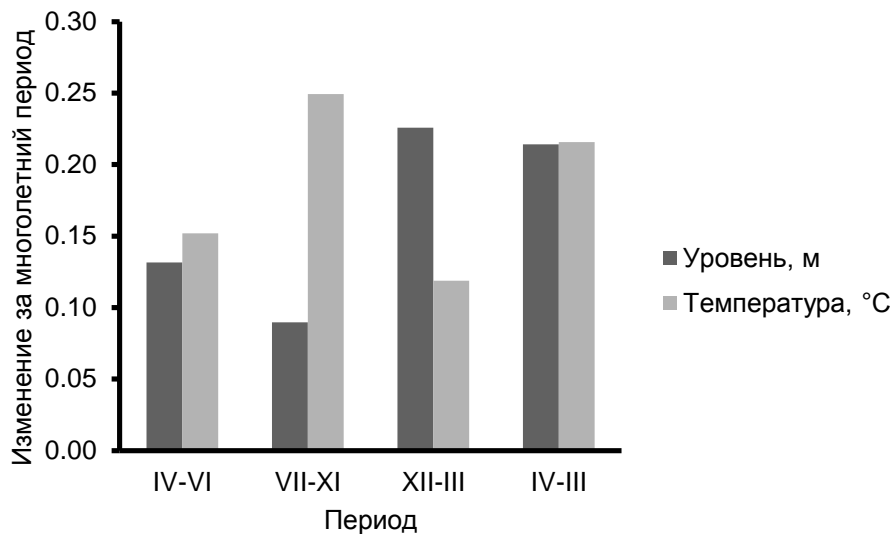


Рис. 1. Многолетние изменения (приращения относительно значений значений, полученных в период до середины 1980-х гг.) среднесезонных и среднегодовых значений уровней и температуры подземных вод в таёжной зоне Западной Сибири [2]

Таким образом, в Западной Сибири в условиях избыточного увлажнения во многих случаях наблюдается повышение уровней подземных вод, а в условиях недостаточного увлажнения – их снижение. Эти изменения в пространственном разрезе пока носят мозаичный характер и связаны, предположительно, как с соответствующим изменением общего увлажнения рассматриваемого региона, так и с внутригодовым перераспределением атмосферных осадков и изменением временных границ периода снеготаяния, следовательно, условий инфильтрации снеготалых вод в почвогрунты [7].

Изменения подземного стока. Сравнение значений подземного стока, вычисленного по формулам (1, 2), свидетельствует о сопоставимости указанных методик, что позволило использовать более простой способ (2) и получить многолетние ряды подземной составляющей стока ряда средних рек Сибири. Их статистический анализ позволил сделать вывод об определённом увеличении в 1970-2000-е гг. годового подземного стока в таёжной зоне Западной Сибири (табл. 1). В лесостепной и степной зонах, а также в горных районах подобные тенденции также прослеживаются, но часто выражены слабее. В целом, указанные изменения пока не привели к существенному изменению нормы суммарного (поверхностного и подземного) стока на большей части Сибири, что в общем соответствует выводам, полученным в [4, 7, 10].

Таблица 1

Результаты проверки на однородность и случайность рядов наблюдений за модулем подземного стока [10]

Река	Пункт	Период	A , л/(с·км ²)	σ , л/(с·км ²)	a^* , л/(год·с·км ²)
Шегарка	с. Бабарькино	1953-1993	0.36	0.11	0.006
		1953-1979	0.30	0.09	0.007
		1980-1993	0.40	0.11	–
Чая	с. Подгорное	1953-2005	0.98	0.19	0.006
		1953-1979	0.89	0.16	–
		1980-2005	1.07	0.18	0.012
Парабель	с. Новиково	1958-2005	1.27	0.21	–

Река	Пункт	Период	A , л/(с·км ²)	σ , л/(с·км ²)	a^* , л/(год·с·км ²)
		1958-1979	1.25	0.24	–
		1980-2005	1.30	0.17	–
Васюган	с. Средний Васюган	1953-2005	1.42	0.57	0.013
		1953-1979	1.28	0.34	–
		1980-2005	1.58	0.71	0.047
Тым	с. Напас	1937-1993	2.79	0.42	0.015
		1937-1979	2.75	0.44	0.026
		1980-1993	2.92	0.31	–
Конда	с.Болчары	1936-1996	1.88	0.97	0.018
		1936-1979	1.77	0.95	–
		1980-1996	2.19	0.98	–
Полуй	с. Полуй	1954-1996	2.70	0.35	0.013
		1954-1979	2.59	0.39	–
		1980-1996	2.87	0.21	–
Чулым	с. Тегульдет	1948-1993	1.25	0.29	0.007
		1948-1979	1.17	0.22	–
		1980-1993	1.45	0.33	0.048
Кия	г. Мариинск	1936-1993	2.16	0.52	0.014
		1936-1979	2.05	0.49	0.013
		1980-1993	2.49	0.50	–

Примечание: a – коэффициент регрессии в уравнении $Y=a \cdot t+b$, где Y – модуль подземного стока; t – календарный год; b – эмпирическая константа

Моделирование изменений подземного стока. Моделирование природно-антропогенных воздействий на водный сток и режим заключалось в использовании заданных значений морфометрических и климатических характеристик, приведенных в табл. 2. Их выбор был сделан из следующих соображений: 1) в настоящее время в таежной зоне Западной Сибири продолжается интенсивное заболачивание при одновременном уменьшении доли незаболоченных лесов; 2) сейчас в регионе наблюдается определенное уменьшение температуры атмосферного воздуха в летние месяцы и увеличение в остальную часть года; 3) в долгосрочной перспективе дальнейшее потепление может сопровождаться увеличением количества атмосферных осадков в рамках концепции повторения периодов жаркого и влажного климата; 4) альтернативный вариант развития событий – формирование холодного и относительно сухого климата, проявления которого в рассматриваемом регионе также были отмечены в прошлые геологические периоды [5].

Таблица 2

Результаты расчета водного стока рек таежной зоны Западной Сибири и его внутригодового распределения [5]

Вариант расчёта	Водосбор реки					
	Тым	Кеть	Васюган	Парабель	Чая	Шегарка
<i>a</i>) измеренный сток; измеренные влагозапасы в снежном покрове	101	75	41	43	34	13
<i>b</i>) расчетные влагозапасы в снежном покрове; уменьшение	101	75	41	43	34	13

Вариант расчёта	Водосбор реки					
	Тым	Кеть	Васюган	Пара- бель	Чая	Шегар- ка
лесистости водосбора на 20%; увеличение заболоченности водосбора на 20%						
<i>c</i>) расчетные влагозапасы в снежном покрове; уменьшение лесистости водосбора на 20%; увеличение заболоченности водосбора на 10%; увеличение озёрности водосбора на 10%	101	75	41	43	34	13
<i>d</i>) расчетные влагозапасы в снежном покрове; уменьшение среднемесячной температуры атмосферного воздуха на 1°C в июне – августе и увеличение на 1°C в остальные месяцы	225	91	146	254	130	79
<i>e</i>) расчетные влагозапасы в снежном покрове; увеличение среднемесячных значений температуры атмосферного воздуха и месячных сумм атмосферных осадков на 5%	213	84	132	227	103	67
<i>f</i>) расчетные влагозапасы в снежном покрове; уменьшение среднемесячных значений температуры атмосферного воздуха и месячных сумм атмосферных осадков на 5%	94	66	22	39	31	12

В результате выполненных расчетов были получены значения месячного и годового водного баланса. Их анализ показал, что наблюдаемые изменения суммарного и подземного водного стока рек Западной Сибири удовлетворительно объясняются изменениями климата, связанными с незначительным похолоданием в летний период и потеплением в остальную часть года (вариант *d* в табл. 2). При этом сценарии при неизменном годовом атмосферном увлажнении уменьшается годовое испарение с поверхности, а сток увеличивается, особенно в зимний маловодный период, когда меженный речной сток ориентировочно тождественен подземному стоку. Соответственно, возрастает и подземная составляющая годового стока в целом (табл. 2).

Потепление в комплексе с увеличением атмосферного увлажнения также приводит к заметному росту водного стока, а общее похолодание и уменьшение атмосферных осадков – к его снижению. Уменьшение лесистости водосбора и увеличение его заболоченности сказываются на норме водного стока не столь явно, что, конечно же, не исключает возможность существенного изменения других характеристик стока, например максимальных расходов половодья. В целом анализ результатов моделирования позволяет предположить наличие следующего механизма изменения стока и его внутригодового распределения: 1) при увеличении температуры

атмосферного воздуха в осенний, зимний и весенний периоды начало интенсивного снеготаяния смещается на более ранние сроки, а установление устойчивого снежного покрова – на более поздние; 2) увеличивается эффективное атмосферное увлажнение в апреле и октябре, что сказывается прежде всего на величине зимнего меженного стока, так как кривая зимнего спада стока становится несколько выше и смещается на более поздние сроки; 3) при уменьшении температуры воздуха в весенние и летние месяцы испарение несколько уменьшается, что может компенсировать наблюдаемое в некоторых случаях уменьшение эффективного атмосферного увлажнения; 4) в осенние месяцы при повышении температуры воздуха возрастает испарение, частично компенсирующее увеличение атмосферного увлажнения [5].

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ No. 13-05-98045 p_сибирь_a и ТПУ VIU_VAF_144_2014.

Выводы

Во второй половине XX века – начале XXI века в таёжной зоне Западной Сибири вне участков явного антропогенного воздействия происходило статистически значимое увеличение подземной составляющей речного стока и уровней подземных вод верхней гидродинамической зоны в зоне избыточного увлажнения. Как показали статистический анализ гидрометеорологической и гидрогеологической информации и математическое моделирование формирования водного баланса в бассейнах средних рек, указанное увеличение подземного стока удовлетворительно объясняется смещением сроков установления снегового покрова и снеготаяния, снижением испарения с поверхности водосборов при уменьшении температур воздуха в летний период и увеличением температуры в остальные месяцы года даже при отсутствии изменений годового атмосферного увлажнения. В целом изменение климатических условий является приоритетным фактором изменения среднесезонного водного стока в таежной зоне Западной Сибири по сравнению с возможным антропогенными и/или природными изменениями лесистости и заболоченности водосборов.

Литература

1. Ковалевский В.С. Влияние изменения климата на подземные воды // Водные ресурсы. 2007. №2. С. 158-170.
2. Лыготин В.А., Савичев О.Г., Макушин Ю.В. Многолетние изменения среднесезонных и среднегодовых уровней и температуры подземных вод верхней гидродинамической зоны в Томской области // Геоэкология. 2010. № 1. С. 23-29.
3. Региональный мониторинг. Ч. 4. Природно-климатические изменения / Под ред. М.В. Кабанова. // Томск: МГП «РАСКО», 2000. 270 с.
4. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области // Томск.: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010. 248 с.
5. Савичев О.Г. Математическое моделирование формирования водного стока рек Западной Сибири // Инженерные изыскания. 2012. № 8, С. 40-48.
6. Савичев О.Г., Бернатонис П.В., Бернатонис В.К. Гидрологическое обоснование хозяйственного освоения торфяных болот (на примере водосбора реки Ключ, Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. 2012. № 1, С. 155-162.
7. Савичев О.Г., Лыготин В.А., Камнева О.А. Многолетние изменения гидрогеодинамического режима подземных вод Обского бассейна // Разведка и охрана недр. 2011. № 11. С. 32-35.
8. Современные глобальные изменения природной среды. В 2-х томах. Т.1 // М.: Научный мир, 2006. 696 с.
9. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles // Journal of Hydrology, 1970, 10 (3), p. 282-290.
10. Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Lettenmaier D.P., Polischuk Yu.M., Savichev O.G., Smith L.G. Hydrological Changes: Historical Analysis, Contemporary Status, and Future Projections. Ch. 4 // Environmental Changes in Siberia: Regional Changes and their Global Consequences / eds. Groisman and Gutman // Springer, 2013. p. 111-154.

11. Zemtsov V.A., Savichev O.G. Resources, regime and quality of surface waters in the Ob River basin: history, current state and problems of research // International Journal of Environmental Studies. 2015. № 3. DOI:10.1080/00207233.2015.1019299.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ДЕГИДРАТАЦИИ МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД

В.Н. Сальников, В.К. Попов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,
E-mail: salnikov-40@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены закономерности генерирования электромагнитного излучения в широком диапазоне радиочастот минералов горных пород при нагревании образцов в вакууме от 20° С до 1000° С. Приведены примеры корреляции электромагнитной эмиссии с электропроводностью, термолюминесценцией, термографическим анализом при физико-химических процессах, развивающихся вследствие диагенеза, катагенеза и метagenеза.

Abstract. This article examines patterns of generating electromagnetic radiation in a wide range of radio frequencies, minerals rocks when heated in a vacuum samples from 20° with up to 1000° s. are examples of electromagnetic emission correlation with electric conductivity, termolûminescenciej, termografîčeskim analysis in physical-chemical processes, developing as a result of diageneza, katageneza and metageneza.

В 1970 г. при кафедре физики твердого тела электрофизического факультета (ФТТ ЭФФ) Томского политехнического института был сформирован геолого-физический отряд. Начальником был назначен ассистент кафедры ФТТ Сальников В.Н. В летнем полевом сезоне 1971 г., под руководством профессора А.А. Воробьева на Алтае и руднике «Коммунар» на переменных аномалиях естественного поля (ЕП) были проведены первые измерения импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭПЗ). Установлено, что аномальным значением интенсивности электромагнитных импульсов (ЭМИ) обладают контакты горных пород, сульфидные зоны. Суточный ход естественного импульсного электромагнитного поля Земли имеет ряд минимумов и максимумов. Разряды в горных породах возникали в результате сейсмических колебаний, тектонических движений, камнепадов и при буровзрывных работах [3]. «Земное электричество производит бури, которые разрушают внутреннее строение нашей Земли точно так же, как в атмосфере приводят в беспорядок воздушное пространство...» - высказанная гипотеза была разработана Жоржем Дари в 1885 году и вновь возрождена А.А. Воробьевым в 1970 году.

Какие же физико-химические процессы, кроме образования трещин при разрушении горных пород, вследствие землетрясений, приводят к электромагнитной эмиссии в оболочках Земли? Такая задача была поставлена, и в 1971 году был составлен план лабораторных исследований, направленных на возможность установление электромагнитной эмиссии при нагревании горных пород и минералов вследствие возникновения в них физико-химических процессов. В лаборатории Физики диэлектриков и полупроводников (ЭДИП) Сальниковым В.Н. со студентами была собрана схема к уже функционирующей установке по электропроводности для измерения электромагнитного излучения при нагревании природных и искусственных диэлектриков в вакууме при температурах от 20°С до 1000°С синхронно с электропроводностью и отдельно. В настоящее время установки располагаются в лаборатории «Природно-техногенные электромагнитные системы» 1 корпуса Института природных ресурсов ТПУ. Методология и методы исследований